

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФІЗИКИ МЕТАЛІВ**

«На правах рукопису»
УДК 621.785.532.621.9.048.4

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри
_____ Є.В. Іващенко
(підпис)

“ ____ ” _____ 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 132 – Матеріалознавство**

**на тему: «Комплексна електроіскрова та іонно-плазмова обробка сталі
40X13»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ФМ-61м
Боришкевич Віталій Юрійович

Керівник:

доцент КФМ, к.т.н., Іващенко Є.В.

Консультант з нормоконтролю:

асистент КФМ, Шаповалова Н.А.

Консультант з охорони праці:

доцент, к.т.н., Зацарний В.В.

Рецензент:

доцент, к.т.н., Бобіна М.М.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 132 «Матеріалознавство» (Фізичне матеріалознавство)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Є.В. Іващенко

«__» _____ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Боришкевичу Віталію Юрійовичу**

1. Тема дисертації «Комплексна електроіскрова та іонно-плазмова обробка сталі 40X13», науковий керівник дисертації Іващенко Є.В. к.т.н., затверджена наказом по університету від «22»березня 2018 р. № 994-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: процес формування мікроструктури та фазового складу поверхневих шарів на сталі 40X13 після електроіскрового легування та іонно-плазмового азотування.

4. Предмет дослідження: мікроструктура, фазовий склад та мікротвердість шарів, які утворилися після електроіскрового легування та іонно-плазмового азотування на сталі 40X13.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1) дослідити вплив ЕІЛ хромом, титаном та залізом на мікроструктуру, фазовий склад та мікротвердість поверхневого шару сталі 40X13;

2) дослідити вплив іонного азотування на мікроструктуру, фазовий склад та мікротвердість поверхневого шару сталі 40X13;

3) дослідити вплив поєднання двох методів обробки: електроіскрового легування та іонно-плазмового азотування на мікроструктуру, фазовий склад та мікротвердість поверхневого шару сталі 40X13 в послідовності ЕІЛ-ІА та ІА-ЕІЛ.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Тема роботи (слайд); актуальність роботи (слайди); мета роботи (слайд); методи дослідження (слайд); результати (слайди); висновки (слайд).

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1) Боришкевич В.Ю. Іонно-плазмове азотування сплавів заліза з попереднім електроіскровим легуванням / В.Ю.Боришкевич, Є.В.Іващенко, Г.Г.Лобачова // Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів. – 2017. – №1. – С. 24–25.

2) Комплексна поверхнева електроіскрова та іонно-плазмова обробка сталей / Боришкевич В.Ю., Іващенко Є.В., Лобачова Г.Г., Мельниченко І.Р. // Матеріали для роботи у екстремальних умовах – 7 . – 2017. – №1. – С. 144.

3) Боришкевич В.Ю. Електроіскрове легування Сталі 40X13 Fe-, Cr-,Ti-анодами / В.Ю.Боришкевич, Є.В.Іващенко, Г.Г.Лобачова // Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів. – 2018. – №1. – С. 19–20.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Шаповалова Н. А., ас		
ОП та безпека в НС	Зацарний В. В., доц.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Визначення та узгодження теми МД		
2	Проведення літературного огляду		
3	Розробка методики експериментів		
4	Підготовка першого та другого розділів		
5	Проведення комплексної обробки та аналізу результатів		
6	Обробка результатів та підготовка третього розділу		
7	Підготовка четвертого розділу та оформлення МД		
8	Попередній захист		
9	Захист		

Студент

В.Ю. Боришкевич

Науковий керівник дисертації

Є.В. Іващенко

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 92 с., 14 табл., 30 рис., 64 джерел.

ІОННО-ПЛАЗМОВЕ АЗОТУВАННЯ, ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ, СТАЛЬ 40X13, ХРОМ, ТИТАН, ЗАЛІЗО, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ГРАВІМЕТРІЯ, МІКРОСТРУКТУРА.

Мета роботи: дослідження формування мікроструктури, фазового складу та мікротвердості поверхневих шарів сталі 40X13 після комплексної обробки у послідовності: пошарове електроіскрове легування (хромовим, титановим та залізними анодами) з наступним іонно–плазмовим азотуванням та у зворотній послідовності.

Предмет дослідження: мікроструктура, фазовий склад та мікротвердість шарів, які утворилися після електроіскрового легування та іонно-плазмового азотування на сталі 40X13.

Методи дослідження: гравіметричний, мікроструктурний, мікродюрOMETричний та рентгенофазовий аналіз.

Наукова новизна: виявлено, можливість створення функціональних покриттів на сталі 40X13 методами комплексної обробки (EIL+IA та IA+EIL), будова яких складаються з тонкого (10-20) мкм легованого (Fe, Cr, Ti) шару з мікротвердістю (8 – 11) ГПа та азотованого підшару протяжністю (40 -160) мкм і мікротвердістю (7 - 4,5) ГПа.

ABSTRACT

Master's dissertation: 92 pages, 15 tables, 30 figures, 64 literary sources.

ION PLASMA NITRIDING, ELECTRIC-SPARK ALLOYING, STEEL OF AISI 420, CHROME, TITANIUM, IRON, MICROHARDNESS, GRAVIMETRIC, MICROSTRUCTURE.

Aim of work: the study of the formation of microstructure, phase composition and microhardness of steel AISI 420 surface layers after complex processing in a sequence: layer electric- spark alloying (chromium, titanium and iron anodes) followed by ion-plasma nitriding and in reverse sequence.

Investigation methods: gravimetric, microdurometric, metallographic and X-ray phase analysis.

Subject of work: microstructure, phase composition and microhardness of layers which formed after electric-spark alloying and ion-plasma nitriding on steel AISI 420.

Scientific novelt: discovered that possibility of creating functional coatings on steel AISI 420 by methods of complex processing (ESA + IP and IP + ESA), whose structure consists of thin (10 -20) microns of doped (Fe, Cr, Ti) layer with a microhardness (8-11) GPa and the nitrided sublayer in length (40 -160) microns and microhardness (7 - 4,5) GPa.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ	8
ВСТУП.....	9
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	11
1.1 Іонно-плазмове азотування	11
1.2 Електроіскрове легування	14
1.3 Комбінована обробка	20
1.4 Висновок до розділу 1.....	22
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	23
2.1 Вихідні матеріали	23
2.2 Процес іонно-плазмowego азотування	24
2.3 Процес електроіскрового легування.....	25
2.4 Методи досліджень	27
2.3.1 Мікроструктурний аналіз	27
2.3.2 Гравіметричний метод.....	28
2.3.3 Мікродюрометричний аналіз	29
2.3.4 Рентгеноструктурний аналіз.....	31
2.5 Висновки до розділу 2.....	33
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	34
3.1 Мікроструктура та мікротвердість поверхні сталі 40X13 після пошаро- вого ЕІЛ Fe , Cr, Ti у різних послідовностях.....	34
3.2 Мікроструктура, фазовий склад та мікротвердість поверхні сталі 40X13 після електроіскрового легування Fe ,Cr ,Ti та наступного ІА	41
3.3 Мікроструктура та властивості поверхні сталі 40X13 після ІА з наступ- ним електроіскровим легування Fe, Ti, Cr.....	47
3.4 Порівняльна характеристика структури та властивостей сталі 40X13 у результаті комплексної обробки ІА та ЕІЛ.....	52
3.5 Висновки до розділ 3.....	55
4 РОЗРОБКА СТАРТАП - ПРОЕКТУ.....	56

4.1 Актуальність.....	56
4.2 Опис ідеї проекту	57
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап - проекту	58
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	64
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап - проекту.....	65
4.6 Формування системи збуту.....	66
4.7 Висновки до розділу 4	69
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	70
5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників при виконанні роботи.....	71
5.2 Загальний перелік факторів середовища, які треба дослідити	73
5.3 Аналіз освітленості приміщення	73
5.3.1 Розрахунок природного освітлення.....	74
5.3.2 Розрахунок штучного освітлення.....	77
5.4 Аналіз шуму та вібрації.....	79
5.5 Аналіз загазованості та запиленості	80
5.6 Електробезпека.....	80
5.7 Пожежна безпека	82
5.8 Забезпечення безпеки в надзвичайній ситуації	83
5.9 Висновок до розділу 5	83
ВИСНОВКИ.....	84
CONCLUSIONS.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	88

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ

- ЕІЛ – електроіскрове легування
- ХТО – хіміко-термічна обробка
- ESA – electric spark alloying
- ЗПШ – змінений поверхневий шар
- ІПА – іонно-плазмове азотування
- ІРН – ion-plasma nitriding
- ЗП – заробітна плата
- МВ – вартість матеріалів
- ОП – охорона праці
- ГДК – гранично допустима концентрація

ВСТУП

Підвищення зносостійкості та довговічності деталей машин та механізмів, різальних інструментів, технологічного обладнання є актуальною проблемою сучасного машинобудування [1].

Один із основних способів зміцнення приповерхневих шарів металів та сплавів є хіміко-термічна обробка (ХТО), до якої належить ефективний та економічно вигідний метод – іонно-плазмове азотування (ІА).

Позитивним чином на властивості одержуваної дифузійної зони при азотуванні впливає наявність додаткових легуючих елементів у приповерхневій зоні. Нанесення легуючих елементів на оброблювану поверхню деталі можливо реалізувати методом електроіскрового легування (ЕІЛ). Цей метод достатньо простий у реалізації та за рахунок модифікування структури поверхневого шару підвищує фізико-механічні властивості (зносостійкість, твердість, міцність, корозійну тривкість та ін.) металів [3].

В останні роки досліджуються процеси комплексної обробки металів та сплавів, які полягають в послідовному проведенні електроіскрового легування та нанесення дифузійних шарів методом ІА в результаті яких отримані шари мали покращені фізико-механічні властивості [2,3].

Аналіз літературних джерел свідчить про недостатню кількість даних про комбіновані методи обробки, а саме електроіскрового легування та іонно-плазмowego азотування. Тому дослідження процесів комплексної обробки сталі є актуальним питанням сьогодення.

Мета роботи: дослідження формування мікроструктури, фазового складу та мікротвердості поверхневих шарів сталі 40Х13 після комплексної обробки у послідовності: пошарове електроіскрове легування (хромовим, титановим та залізними анодами) з наступним іонно–плазмовим азотуванням та у зворотній послідовності.

Для досягнення поставленої мети виконувалися наступні завдання:

- провести огляд літератури за темою дослідження;
- дослідити вплив ЕІЛ хромом, титаном та залізом (у різних послідовності) на мікроструктуру, фазовий склад та мікротвердість поверхневого шару сталі 40X13;
- дослідити вплив іонного азотування на мікроструктуру, фазовий склад та мікротвердість поверхневого шару сталі 40X13;
- дослідити вплив поєднання двох методів обробки: електроіскрового легування та іонно-плазмового азотування на мікроструктуру, фазовий склад та мікротвердість поверхневого шару сталі 40X13 в послідовності ЕІЛ-ІА та ІА-ЕІЛ;
- провести порівняльний аналіз отриманих результатів та визначити найбільш ефективний метод обробки.

Об'єкт дослідження: процес формування мікроструктури та фазового складу поверхневих шарів на сталі 40X13 після електроіскрового легування та іонно-плазмового азотування.

Предмет дослідження: мікроструктура, фазовий склад та мікротвердість шарів, які утворилися після електроіскрового легування та іонно-плазмового азотування на сталі 40X13.

Методи дослідження: гравіметричний, мікроструктурний, мікродюрOMETричний та рентгенофазовий аналіз.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Іонно-плазмове азотування

Іонно-плазмове азотування (ІПА) – різновид хіміко-термічної обробки інструменту, деталей машин, ливарної та штампованої оснастки, що здійснюється дифузійним насиченням поверхневого шару сталі азотом в азотно- аргонівій плазмі [4].

Іонне азотування на теперішній час є більш доцільним за газове. Його основними перевагами є: можливість управляти процесом насичення, що дає у результаті змогу одержувати зміцнені шари високої якості, зазначеного фазового складу та будови, наявність однорідного та однакового насичуючого середовища навколо оброблюваної деталі, що забезпечує одержання рівномірного по всій товщині азотованого шару [5].

Перевагою іонно-плазмового азотування над пічним методом є:

- можливість контролювати та змінювати температурний діапазон обробки та склад газового середовища [6];
- висока швидкість процесу насичення [6];
- одержання дифузійних зон наперед визначеного фазового складу [6];
- порівняна низька вартість процесу обробки [6];
- малі деформації виробів після обробки [6];
- отримання рівномірної та однорідної товщини дифузійної зони [6];
- наявні дифузійні зони на більшій глибині від поверхні [6].

Азотування збільшує корозійну стійкість деталей із вуглецевих і маловуглецевих сталей. Азотовані деталі з підвищеною поверхневою міцністю і зносостійкістю, водночас набувають властивостей корозійної стійкості в середовищах розчинах лугів, пару, бензині, водопровідної води, неочищеному маслі, забрудненій атмосфері [4].

Азотування необхідне для покращення фізико-механічних та триботехнічних властивостей виробів, а саме підвищення: твердості поверхні

при збереженні вихідної в'язкості серцевини виробу, зносостійкості при циклічних та змінних навантаженнях, міцності при навантаженнях розтяг-стиснення, вигин та кручення [4].

Іонне-плазмове азотування підвищує поверхневу твердість деталей, що пов'язано виникненням надлишкових напружень, спричинених виділенням високодисперсних нітридів, що підвищує межу втоми та міцності металу [4].

Основний вплив на проходження процесу азотування мають фази, які безпосередньо виникають під час протікання самого процесу.

Система Fe-N може перебувати у рівноважному і не рівноважному станах. Устабільній системі Fe-N у рівновазі перебувають α - та γ - тверді розчини азоту в залізі та газоподібний азот. Високо азотисті сполуки (нітриди) дисоціюють із видаленням азоту [5].

Однак, як і в системі Fe-C, найбільше значення має не рівноважна, а метастабільна система Fe-N, що утворює наступні фази:

1) α -фаза, що являє собою азотистий ферит із ОЦК граткою, максимальна розчинність азоту 0,11 % [6];

2) γ -фаза азотистий аустеніт із ГЦК граткою, максимальна розчинність азоту 2,8 % [6];

3) γ' -фаза відповідає твердому розчину на базі нітриду Fe_4N , та має ГЦК решітку з зоною гомогенності (5,3 -5,75) % [6];

4) ϵ -фаза твердий розчин на базі сполуки Fe_{2-3}N із ГЦП решіткою та існує в інтервалі концентрації (4,55 – 11) % [6];

5) ξ -фаза існує на базі Fe_2N та має ромбічну гратку з областю гомогенізації (11,07-11,18) % N [6].

При температурі 590°C γ -фаза розпадається $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma'$ [4].

Залежність розчинності азоту у фериті від температури зображено на рис.1.1.

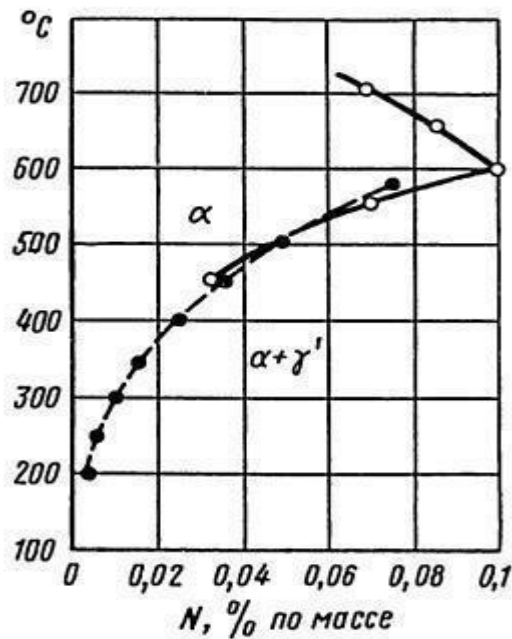
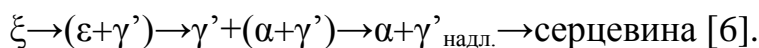


Рисунок 1.1 – Область розчинності азоту в фериті [6]

При заміні певної кількості атомів азоту на атоми вуглецю утворюється нова карбонітридна сполука. ξ -фаза здатна розчинити у собі більшу кількість вуглецю, ніж ϵ -фаза та її особливістю є те, що вона може змінювати свій склад від $\text{Fe}_8\text{C}_3\text{N}$ до Fe_2N [9].

В наслідок проведеного азотування виникає дифузійний шар, що має наступний розподіл фаз:



В процесі проведення азотування сталі, у результаті розчинення вуглецю нітридами, можна очікувати утворення карбонітридів типу $\text{Fe}_2(\text{N}, \text{C})$ та $\text{Fe}_4(\text{N}, \text{C})$ у випадку коли у дифузійній зоні представлені елементи схильні до утворення нітридів, таких як Cr, Ti, Mn, Mo, W. За наявності на поверхні матеріалу наведених елементів, при азотуванні будуть виникати нітриди цих елементів та розташовуватимуться в приповерхневому шарі [7].

За наявності легуючих елементів, таких як хром, нітридні фази проникнення дуже легко розчиняють в собі інші елементи, що приводить до утворення комплексних сполук. Прикладом такого ефекту для сплавів заліза є

$(\text{Fe}, \text{Cr})_4\text{N}$ та $(\text{Fe}, \text{Cr})_2\text{N}$. Характерним явищем для даного процесу є розчинення заліза у нітриді хрому та розчинення хрому у нітриді заліза.

Найбільш перспективним та економічно обґрунтованим у наш час є процес азотування у плазмі жевріючого розряду. У розрідженій азотовмісній атмосфері між катодом, на якому розташована оброблювана деталь чи зразок, та анодом збуджується жевріючий розряд, в результаті чого, іони бомбардують поверхню катоду, нагріваючи її до температури $(470-600)^\circ\text{C}$, тиск насичуючого газу складає $(100-500)$ кПа, при напрузі $(400-1500)$ В. Процес іонного азотування проводять впродовж кількох хвилин до десятків годин [8].

У процесі обробки відбуваються наступні явища:

1) реактивне розпилення катоду, а саме: емісія електронів, випаровування атомів з поверхні, дифузія іонів у поверхневий шар, за рахунок удару іонів об поверхню відбувається передача енергії і як наслідок нагрівання [8];

2) атоми заліза у тліючому розряді з'єднуються з азотом, що перебуває у різних станах збудження, та утворює нітрид заліза, який адсорбується поверхнею катоду [6];

3) напилений шар нітридів під дією іонного бомбардування розкладається до нижчих нітридів заліза ($\text{FeN} \rightarrow \text{Fe}_3\text{N} \rightarrow \text{Fe}_4\text{N}$) та дифундує на поверхневому шарі [5-6];

4) збіднене на азот залізо повертається в плазму та утворює нові високі нітриди [6].

Ці процеси повторюються безперервно, що і зумовлює одержання азотованого шару на обробленій поверхні сталі.

1.2 Електроіскрове легування

Однію з сучасних технологій зміцнення та підвищення довговічності поверхонь металевих деталей відноситься електроіскрове легування, що дозволяє створювати покриття з унікальними фізико-механічними і триботехнічними властивостями [10].

Цей метод обробки знайшов своє застосування у зміцненні різального інструменту, машинобудуванні, штампового оснащення. Економічна ефективність та обґрунтованість використання цього покриття підтверджується у багатьох працях видатних вчених [11-13].

Вся суть цього методу обробки полягає у тому, що під дією великих електромеханічних та теплових навантажень проходить локальне розплавлення з наступним перенесення та охолодженням (10^3 – 10^4) град/с матеріалу аноду на поверхню матеріалу катоду [14].

На обробленій поверхні проходять процеси (дифузійні, тримотехнічні, електромеханічні та ін.), які забезпечують високу адгезію між матеріалами основи та покриття [15].

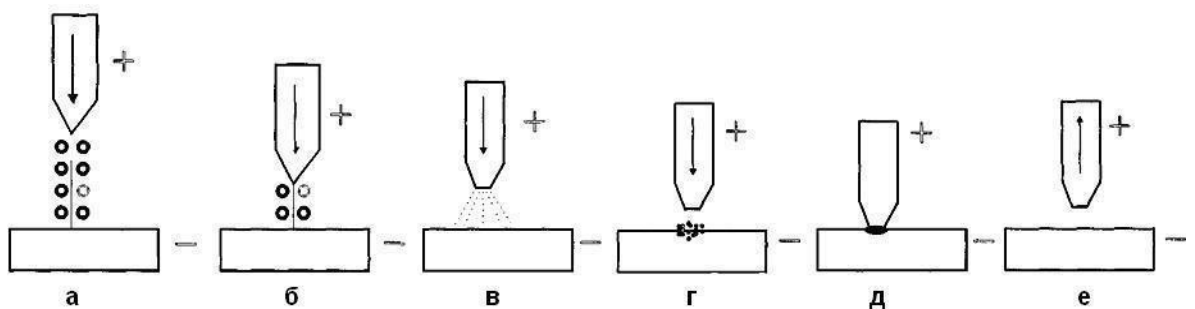
Основна модель протікання даного процесу розроблена вченими Б. Р. Лазаренко та Н. І. Лазаренко представлена нижче. Під час зближенні електродів напруженість електричного поля збільшується. При певній критичній відстані між електродами виникає іскровий електричний розряду. Через утворений наскрізний канал провідності пучок електронів фокусується та ударяється об поверхню анода (рис.1.2, а). Енергія гальмування електронів виділяється в приповерхневих шарах анода. В результаті з тим, що в даний момент система стрибкоподібно звільняє накопичену енергію, густина струму значно перевищує певні критичні значення. У зв'язку з цим від анода відділяється крапля розплавленого металу, яка рухається до поверхні катоду катода (рис.1.2, б), випереджаючи анод, який рухається [16].

У процесі відділення від анода крапля, яка летить, встигає за цей короткий проміжок часу нагріватися до високої температури, закипає та «вибухає». Електричний контакт струму переривається, а стискаючі напруження електромагнітного поля зникають і у результаті частинки, що утворилися летять широким фронтом (рис.1.2, в) [16].

Через те, що перегріта крапля і тверді частинки перебувають у контакті з газовим середовищем, то за властивостями та хімічним складом вони можуть відрізнятися від початкового матеріалу анода. Коли розплавлені частинки

досягають катода, у результаті вони зварюються з ним і частково імплантуються у його поверхню (рис.1.2, г) [16].

Після цього процес не закінчується, так як за частинками рухається електрод, який наявний у системі, що вже встигла повторно накопичити значну енергію. Через це розжарені частинки на катоді, переходять у другий імпульс струму, що супроводжується механічним ударом маси анода, який ще рухається [16].



а – момент пробою міжелектродного проміжку; б – відділення від анода краплі розплавленого металу; в – вибух розплавленої краплі; г – осадження і впровадження матеріалу анода на катоді; д – момент контакту електродів; е – розходження електродів.

Рисунок 1.2 – Схема процесу нанесення покриттів ЕІЛ [16]

Наступним етапом процесу при механічному контакті електродів частинки зварюються між собою та прогрівається тонкий шар поверхні катода, на якому вони розташовані.

Під час цього процесу крім дифузії під дією електричного струму перенесених частинок в приверхневі шари катода відбуваються також хімічні реакції між цими частинками і матеріалом катода.

Механічний удар по розжареній масі матеріалів сприяє отриманню покриття (рис.1.2, д), що значно підвищує його щільність та однорідність.

Потім анод рухається вгору, а на поверхні матеріалу катода залишається міцно сполучений з ним шар матеріалу анода (рис.1.2, е) [16].

З показаної моделі процесу електроіскрового легування виходить, що перенесення матеріалу анода відбувається з моменту пробією міжелектродного розряду до зіткнення його з поверхнею катода; з моменту пробією і до зіткнення електродів відбуваються два імпульси струму; речовина переноситься в рідкокраплинному стані [17].

Електроіскрові легування - це процес мікрозварювання з використанням короткочасних, електричних імпульсів з великою силою струму для осадження електродного матеріалу на металевій підкладці обробленого матеріалу. Досить мала тривалість електричного імпульсу призводить до дуже швидкого затвердіння осаджуваного матеріалу і в результаті чого до утворення поверхневого шару з властивостями, які є відмінними від властивостей основного матеріалу. Отриманий шар має хорошу корозійну стійкість та зносостійкі [18].

Електроіскрове осадження дозволяє: значно підвищити зносостійкість і твердість металічних поверхонь деталей машин і різальних інструментів з метою збільшення їх довговічності та міцності. Також така обробка дозволяє замінити спеціальні сталей менш дефіцитними або більш дешевими; зменшити перехідні опори електричних контактів, їх зношення; збільшити шорсткість металічних поверхонь, а також наносити проміжні та перехідні шари для подальшого полегшення процесу пайки, підвищити корозійну та вогнетривку стійкість, а також відновлювану властивість як деталей машин при ремонті, так і вимірних інструментів; отримувати омичні та випрямляючі контакти на напівпровідниках(нанесені покриття мають досконалий і міцний зв'язок з основним металом підкладки, оскільки супроводжується високо реакційними та дифузійними процесами) [19].

Перевагами методу електроіскрового легування є:

- можливість локального формування покриттів;
- висока адгезія з матеріалом основи;

- можливість нанесення будь-яких струмопровідних матеріалів [20];
- відсутність високого нагрівання та деформування виробів у процесі обробки [20];
- високий коефіцієнт перенесення матеріалу (60 – 80) % [20];
- проста технологія, що не потребує спеціальної попередньої підготовки поверхні [20];
- простота обслуговування та надійність малогабаритного обладнання, що можна легко транспортувати [20];
- низька енергоємність (0,5 – 2) кВт процесу [20];
- екологічна чистота процесу обробки [20].

Електроіскрове легування застосовується для збільшення надійності та строку експлуатації деталей машин, приладів і механізмів, ріжучого інструменту, кокілів для литва металів та ін. Також за його допомогою створюються багат шарові покриття [20].

ЕІЛ супроводжується рядом фазових і структурних перетворень в поверхневих шарах матеріалу катоду. Впродовж процесу відбувається утворення карбідів, нітридів, окислів, диспергування зерен та ін., внаслідок серії складних фізико-хімічних явищ, які відбуваються в процесі легування [21]. По-перше, температура нагрівання мікроб'ємів поверхні перевищує температуру кипіння матеріалу, а тиск ударної хвилі від електричного розряду досягає значення 7×10^5 кг/мм². По-друге, змінюється фазовий склад поверхневого шару катода в результаті перенесення на нього матеріалу анода. Тобто структурні зміни в поверхневих шарах катода відбуваються внаслідок багаторазового впливу зазначених чинників, а також зовнішнього середовища, що взаємодіє з нагрітим об'ємом металу. Структура зазвичай складається з білого шару та дифузійної зони [22].

Основні змінними параметрами при електроіскровому легуванні:

- амплітуда коливання;
- сила струму протягом обробки;

- тривалість обробки [23].

Вважається, що для металів перехідних груп та тугоплавких металів проводити обробку треба не більше 180 с (3 хв). Крім того, існує розділення «грубого» та «чистого» легування.

В режимах «чистого» легування одержані покриття (легований шар) мають товщину (1-5) мкм. На окремих ділянках спостерігається несучільність легованого шару і каверни в основному матеріалі зразка, що вказує на випаровування або перенесення матеріалу катоду в процесі легування.

В режимах «грубого» легування значно зростає товщина покриття (до 20-40 мкм), зміцнюється зв'язок «білого» шару з основою, на межі розділу спостерігається дифузійний шар без наявності оксидів і тріщин. Легований шар на окремих ділянках утворюється пошарово з високим дифузійним зв'язком між шарами. Окремі глибокі каверни на його поверхні також вказують на специфіку електроіскрового процесу [24].

В залежності від параметрів обробки продуктивність процесу ЕІЛ змінюється від (0,5 -20) $\text{см}^2/\text{хв}$. Товщина сформованих шарів коливається в межах (0,01-0,2) мм.

Якісну оцінку процесу ЕІЛ можна отримати дослідивши поведінку та можливості електроду та поверхні катоду. Найбільш повну інформацію можна отримати при вивченні кінетичних залежностей ерозії аноду (Δm_a) та приросту катоду (Δm_k) при різних режимах обробки і оцінці властивостей сформованих покриттів (рівномірності, суцільності, товщини, мікротвердості, адгезії і т.д.) [24].

Електроди (аноди) з таких матеріалів як: Al, Ti, Ni, Cr, Cu, використовували автори [25] для нанесення жаростійких і тепловідвідних покриттів на твердий сплав ВК8. Після проведення експерименту автори вияснили, що електроди з Cr і Al більше підходять для формування жаростійких покриттів на сплаві ВК8.

Авторами [26] встановлено, що зміцнення сталі 40X13 сплавом T15K6 дозволяє отримано максимальну мікротвердість 21,5 ГПа, яку забезпечують карбіди титану та вольфраму.

Хромове покриття на сталі 40X13 дозволяє підвищити її зносостійкість і є достатньо рівномірним і якісним, щоб задовольнити вимогам сучасного машинобудування [27].

Вплив легуючих елементів на параметри сталі 40X13 представлено у табл.1.1

Таблиця 1.1 – Вплив легуючих елементів на властивості сталі 40X13

Матеріал електрода (анод)	Властивість, що покращується
Cr	Підвищує зносостійкість і жаростійкість
Ti	Підвищує зносостійкість і корозійну стійкість
Fe	Підвищує твердість

1.3 Комбінована обробка

Останнім часом набула поширення розробка новітніх методів обробки поверхні шляхом поєднання декількох технологій зміцнення, зокрема хіміко-термічна обробка та ЕІЛ, але кількість інформації з цього питання обмежена.

Як зазначено у роботі [28], що ХТО заліза у поєднанні з ЕІЛ цирконієм, титаном та хромом призводить до створення на поверхні зразка легованих шарів підвищеної мікротвердості (5,5 – 12,0) ГПа. Виявлено, що ефект прискорення дифузії цирконію в залізі в результаті комплексної обробки ЕІЛ у пропан-бутані та азотування та його розподіл по «голчастим» виділенням на глибину до 200 мкм. Комплексна обробка ЕІЛ та ХТО може бути запропонована для поверхневого зміцнення деталей машин та механізмів, що працюють в умовах тертя.

У роботі [29] показано, що комбінована обробка заліза ЕІЛ та ХТО призводить до отримання покриттів із більшою мікротвердістю, порівняно з

електроіскровим легуванням тими самими анодами, але без додаткового азотування.

Різна послідовність обробки між ЕІЛ та азотуванням в газовому середовищі, дозволяє керувати розподілом мікротвердості в області легованого шару, що дає можливість обирати послідовність стадій із врахуванням умов експлуатації деталей, та забезпеченням необхідної мікротвердості легованого шару [30].

Дослідженням [31] встановлено, що після іонного азотування всіх легованих зразків мікротвердість поверхні значно збільшувалась. Це можна пояснити тим, що в результаті іонного азотування утворилися нітриди заліза (MeN , Me_{2-3}N , Me_4N), що мають високу твердість. Застосування комплексної технології зміцнення із використанням електроіскрового з послідуєчим іонним азотуванням дозволяє отримати інші, більш високі фізико-механічні властивості поверхневих шарів з різним фазовим складом (карбідами та нітридами заліза і легуючих елементів) та градієнтною структурою і твердістю по глибині зразків. Цими властивостями можна добре керувати, що сприятиме підвищенню експлуатаційних характеристик конструкційних елементів.

На основі аналізу технологічних можливостей різних технологій нанесення зміцнюючих покриттів, зокрема іонно-плазмового азотування та електроіскрового легування, встановлено, що максимально ефективним для підвищення стійкості ріжучих елементів і деталей штамів є комбіноване поверхнєве зміцнення.

Основні його переваги полягають в можливості перенесення в оброблювальну поверхню матеріалів високої твердості (твердих сплавів) та азотування без помітної деформації деталей, в високій міцності зчеплення покриття з основою [32].

Метод ІПА для Сталі 40Х13 дає можливість отримувати шари заданого складу з твердістю оброблювальних сталевих деталей (9-12) ГПа. Сформований нітридний шар без мікротріщин і порівняно з традиційними методами ХТО підвищується продуктивність процесу у (3-5) разів [33].

У роботі [34] зразки зміцнені ІПА сталі 46Х13 показали підвищену зносостійкість у 2,5 рази порівняно з необробленими. Проведені дослідження показали перспективність та доцільність застосування іонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення надійності та довговічності поверхні деталей машин.

Запропоновано технологію термоциклічного іонно-плазмового азотування у пульсуючому тліючому розряді, яка виявилася ефективною для зміцнення шарів сталі Р5М5 дозволяє підвищити корозійну стійкість у (2,1-2,6) разів та зменшити інтенсивність зношування у (1,6-2,6) разів [35].

1.4 Висновок до розділу 1

1. Актуальним напрямком досліджень у матеріалознавстві є підвищення довговічності та відновлення деталей у галузі машинобудування, які постійно працюють у складних умовах експлуатації. Напрямом вирішення цієї проблеми є зміцнення поверхневого шару (ЗПШ) виробів іонним азотуванням та електроіскровим легуванням.

2. Розглядаючи наведені наукові роботи, можна дійти висновку, що комбінована обробка – актуальна тема дослідження, яка потребує детального вивчення та досліджень .

3. Запропоновано гіпотезу щодо підвищення зносостійкості та довговічності деталей машин комбінованим методом обробки: іонно-плазмове азотування та електроіскрове легування сталі 40Х13.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вихідні матеріали

Зразки для досліджень були виготовлені з матеріалу сталі 40X13. Хімічний склад даних сталей наведений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад досліджуваного зразка [39]

Матеріал	Хімічний склад
Сталь 40X13	До 84 мас. % Fe; (12-14) мас. % Cr, (0,35-0,44) мас. % C; (0,4-0,6) мас. % Mn; до 0,03 мас. P; до 0,06 мас. % Si; до 0,025 мас. % S; до 0,6 мас. % Ni.

Вибір сталі 40X13, яка використовується [40] для ріжучих, вимірювальних та хірургічних інструментів, пружин, підшипників, валів, пружних елементів для кріплення деталей, що працюють на тертя обумовлений тим, що поверхневе зміцнення цих деталей ЕІЛ та ІА суттєво підвищить ресурс роботи механізмів у яких працюють зазначені деталі.

В якості електродних матеріалів ми використали аноди, які виготовленні з чистих матеріалів: титану, хром та залізо. Хімічний склад даних матеріалів представлений у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад легувальних електродів [40]

Матеріал аноду	Хімічний склад
Cr	до 99,9 мас. % Cr
Ti	до 99,9 мас. % Ti
Fe	до 99,9 мас. % Fe

Титанові, хромові, залізні аноди були вибрані з метою покращення властивостей поверхні сталі 40X13, таких як твердість, зносостійкість, корозійна стійкість.

Хром та титан карбідоутворюючі елементи, які при електроіскровому легуванні підвищують твердість та зносостійкість легованого шару. Також ці елементи є нітридоутворюючими, які призведуть до утворення нітридів під час процесу іонно-плазмового азотування.

2.2 Процес іонно-плазмового азотування

Процес іонно-плазмового азотування розпочинається із підготовки зразків, що полягає у підготовці їх поверхні до процесу насичення.

Зразок необхідно знежирити використовуючи спирт етиловий 98 %. У робочій камері установки створюється форвакуумним насосом тиск $1 \cdot 10^{-4}$ Па. При досягненні даного значення тиску в коло вакуумної системи вмикається дифузійний насос, що забезпечує високий вакуум із тиском $1 \cdot 10^{-5}$ Па.

Після одержання необхідного значення тиску, продуваються газові магістралі, щоб уникнути натікання кисню та інших сторонніх газів до робочої камери.

Процесу іонно-плазмового азотування передують процес катодного розпилення. Даний процес є підготовкою та активацією поверхні матеріалу до обробки. В результаті катодного розпилення із поверхні матеріалу розчиняються оксидні плівки, що можуть бути бар'єром при подальшому процесі азотування. В результаті іонної чистки поверхня звільняється від оксидних плівок за рахунок бомбардування поверхні зразка важкими іонами аргону, які присутні у плазмі.

Після очистки вимикаємо плазму, змінюємо реакційне середовище до складу, що відповідає процесу іонного азотування: 50 % N_2 + 50 % Ar. Контроль температури відбувається за допомогою термопари хромель-алюмель, під'єднаної до мілівольтметра.

Іонно-плазмове азотування проводилось на установці ВС-350 з такими параметрами:

- іонна чистка поверхні проводилась в атмосфері 100 % Ar при температурі 250 °С впродовж 30 хв;
- тривалість азотування 6 години;
- температура 570 °С.

Відлік часу азотування розпочинається з моменту досягнення необхідної температури зразків.

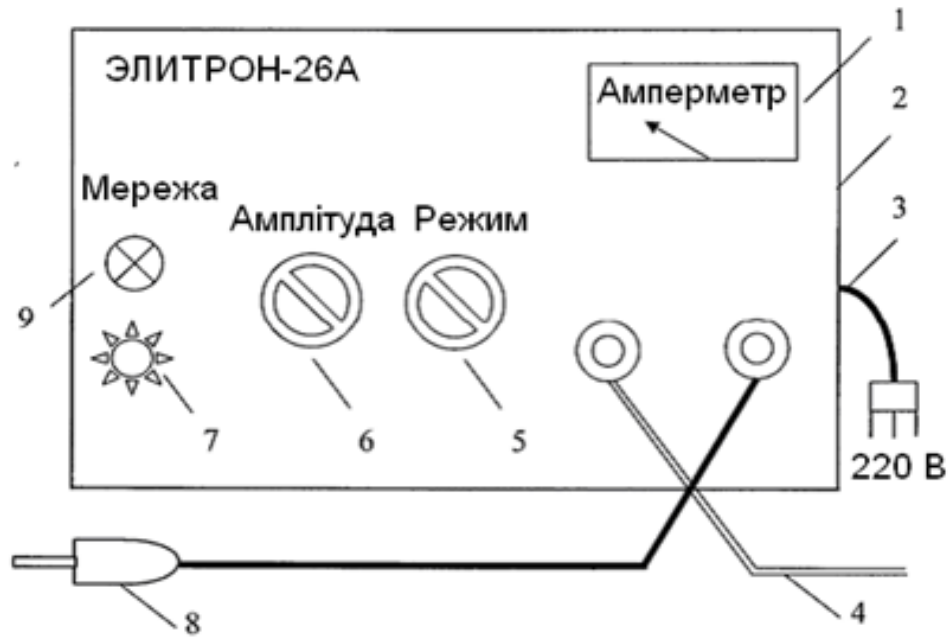
2.3 Процес електроіскрового легування

Процес ЕІЛ проводився на стандартній установці “Элитрон–26А”, загальний вигляд якої показаний на рис. 2.1.

Вмикачем живлення установки 7 здійснювалося вмикання установки, про що сповіщає сигнальна лампочка 9. Живлення установки відбувається від мережі 220 В.

З використанням тумблеру ступінчастого регулювання режиму 5 від 1 до 10 здійснюється регулювання струму електроіскрового розряду у діапазоні від 0,1 А до 3 А, що контролюється амперметром 1. Тумблером регулювання амплітуди коливання аноду 6 здійснюється корегування частоти вібрації аноду (ступені 1 – 10).

Під час контактування аноду, закріпленому на ручці-тримачеві 8 з катодом (зразком), який закріплений на контактній плиті, приєднаній через кабель 4, виникає електроіскровий розряд, під час якого здійснюється нанесення матеріалу аноду на катоду. Вимикання установки здійснюється вимикачем живлення 7, коли загасає індикаторна лампа 9.



1 – амперметр; 2 – генератор; 3 – кабель живлення; 4 – з'єднувальний кабель (на плиту); 5 – тумблер ступінчастого регулювання режиму; 6 – тумблер регулювання амплітуди коливання аноду; 7 – вмикач живлення установки; 8 – віброзбуджувач (на анод); 9 – сигнальна лампочка

Рисунок 2.1 – установка «Елитрон-26А» [16]

Режим роботи установки: сила струму $I = (2 - 2,5) \text{ A}$, , тривалість обробки – 1хв на 1 cm^2 , загальна тривалість обробки – 7 хв.

В якості анодів були обрані метали високої чистоти – Cr, Ti та Fe.

Основні електродні пари підбиралися з урахуванням того, що у процесі ЕІЛ матеріали анодів (перехідних металів), взаємодіючи з матеріалом основи можуть утворювати різні типи твердих розчинів та інтерметаліди.

Для досягнення мети було досліджено 3 зразка із сталі 40X13, кожен з яких був багатостадійно оброблений за допомогою електроіскрового легування з використанням наступних послідовностей:

- Fe – Cr – Ti;
- Cr – Fe – Ti;
- Fe – Ti – Cr.

2.4 Методи досліджень

Для визначення впливу іонно-плазмового азотування з електроіскровим легуванням (нікелем, хромом та титаном) на структуру та властивості покриття сталі 40X13 було проведено комплекс досліджень, що включає у себе: гравіметричний, мікроструктурний, мікродюрOMETричний та рентгеноструктурний аналізи.

2.3.1 Мікроструктурний аналіз

В даній роботі металографічний аналіз застосовується для оцінки впливу іонно-плазмового азотування та електроіскрового легування на мікроструктуру досліджуваних зразків сталі 40X13. Металографічні дослідження проводилися на мікроскопі МИМ-10 при збільшенні в (100-600) разів .

Для виявлення мікроструктури досліджуваних зразків були виготовлені поперечні шліфи. Мікрошліфи зразків досліджуваної сталі 40X13 готували закріплюючи їх в струбцини при цьому відокремлюючи мідними прокладками. Після цього зразки піддавали механічній обробці (шліфування на абразивному камені та абразивному папері різної зернистості) з метою отримання порівняно гладкої бездефектної поверхні, зручної для дослідження за допомогою мікроскопу. Зразки шліфувалися на абразивному папері, змінюючи кут на 90° при переході від більшого до меншого абразиву [42]. Полірування зразків проводилися на полірувальних кругах в два етапи:

- 1) з використанням оксиду хрому;
- 2) з використанням води.

Для виявлення мікроструктури зразки з сталі 40X13 травили у розчині етилового спирту та 20 % азотної кислоти.

Останнім етапом цього процесу було фотографування структури на металографічному мікроскопі МИМ-10.

2.3.2 Гравіметричний метод

Ідея методу полягає у вимірюванні маси зразків (анода і катоду) до і після електроіскрової обробки поверхні катоду після кожної хвилини.

По отриманим результатам зміни сумарної маси катоду і ерозії аноду визначають основні параметри процесу, такі як:

- питома ерозія аноду Δm_a та приріст маси катоду Δm_k , які вимірюють за кожну хвилину (прохід електроду) обробки 1 см^2 поверхні катоду[42]:

$$\Delta m_k(t) = m_k(t_n) - m_k(t_{n-1}), \quad (2.1)$$

$$\Delta m_a(t) = m_a(t_n) - m_a(t_{n-1}), \quad (2.2)$$

де t_n — час n-го вимірювання маси зразка;

t_{n-1} — час попереднього вимірювання маси зразка;

- сумарні ерозія аноду $\Sigma \Delta m_a$ та приріст маси катоду $\Sigma \Delta m_k$, виміряні за час T , хв/см² або кількість проходів електроду n [42]:

$$\sum \Delta m_k(t) = m_k(t_n) - m_k(t_0), \quad (2.3)$$

$$\sum \Delta m_a(t) = m_a(t_n) - m_a(t_0), \quad (2.4)$$

де t_n — час n-го вимірювання маси зразка;

t_0 — до ЕІЛ;

- коефіцієнт перенесення матеріалу визначався як відношення приросту маси катоду до величини ерозії аноду на кожній хвилині ЕІЛ [42]:

$$K = \frac{|\Delta m_k|}{|\Delta m_a|} \times 100. \quad (2.5)$$

Після проведених вимірювань зміни маси катоду і аноду визначають швидкість та інтенсивність процесів масоперенесення.

2.3.3 МікродюрOMETричний аналіз

На приладі ПМТ-3 відбувалося вимірювання мікротвердисть шліфів досліджуваних зразків після кожного етапу обробки. Для визначення мікроструктури зразки травили 20 % розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

Процес визначення мікротвердості проходив шляхом вдавнення стандартної алмазної пірамідки з двограним кутом при вершині 136° при навантаженні 50 г впродовж (7 – 10) секунд [42]. За величиною діагоналі визначали мікротвердість в ГПа за формулою:

$$H_\mu = \frac{18,2 \times P}{\langle d \rangle^2} = \frac{18,2 \times P}{\langle A \times z \rangle^2} = \frac{18,2 \times P}{\langle 0,31 \times z \rangle^2} [\text{ГПа}] = \frac{1,854 \times P}{\langle d \rangle^2} \left[\frac{\text{кг} \times \text{с}}{\text{мм}^2} \right], \quad (2.6)$$

$$H_\mu = \frac{1,854 \times P}{d_{\text{cp}}^2}, \quad (2.7)$$

де H_μ – значення мікротвердості;

P – навантаження, яке діяло на індентор (точність визначення маси гирі вагою 50г складає $\pm 0,1$ мг);

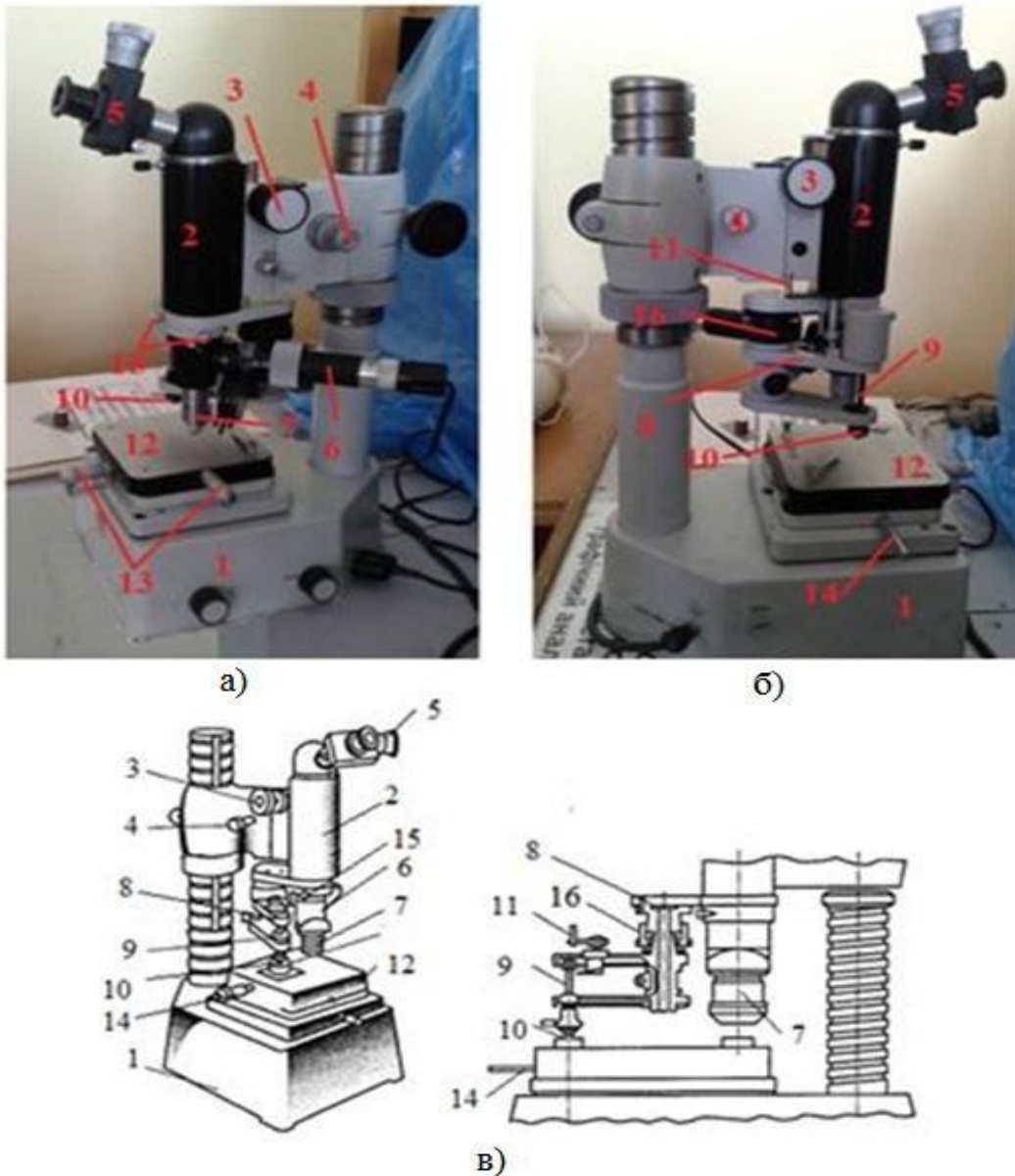
d_{cp} – середнє значення діагоналей d_1 і d_2 , яке розраховується за формулою:

$$d_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{i1} + d_{i2}}{2 \times n}, \quad (2.8)$$

де d_{i1} , d_{i2} — відповідно довжини діагоналей чотирьохкутного відбитка, мкм.

Зовнішній вигляд та принципову схему мікротвердоміру ПМТ-3 за допомогою якого в даній роботі проводилися дослідження наведено на рис. 2.2.

Після підготовки поверхні зразка, встановлюють оптимальне навантаження та проводять не менше 10 випробувань в різних точках поверхні. Потім розраховують значення мікротвердості матеріалу [43].



1 – основа зі штативом; 2 – тубус; 3 – макрометричний гвинт; 4 – мікрометричний гвинт; 5 – окулярний мікрометр; 6 – освітлювач; 7 – об'єктив; 8 – навантажувальний блок; 9 – стрижень для навантажувачів; 10 – індентор; 11 – ручка навантаження; 12 – предметний столик; 13 – регулювальні гвинти; 14 – ручка повороту предметного столика; 15 – центрувальні гвинти; 16 – тарувальний пристрій

Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд (а – вид справа, б – зліва) та схема (в) приладу ПМТ-3 для вимірювання мікротвердості [42]

2.3.4 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгеноструктурний фазовий аналіз проводився на уставці дифрактометр Rigaku Ultima IV з використанням сцинтиляційного лічильника у випромінюванні λ_{Cu} -Cu. Дифрактометричні дослідження проведено у геометрії за Брегом-Брентанно [44].

Умовою дифракції рентгенівських променів на кристалічній ґратці є умова Вульфа–Брегга:

$$2d\sin\theta = n\lambda, \quad (2.2)$$

де d – міжплощинна відстань, властива даній фазі, Å

θ – кут дифракції рентгенівського променя даною системою атомних площин; f

λ – довжина хвилі випромінювання монохроматичних рентгенівських променів, падаючих на кристал, Å;

n – порядок дифракційного максимуму (ціле число).

Інтегральна інтенсивність рефлексу I_{hkl} , отриманого від площини з індексами (hkl) в n – му порядку відбиття, причому $H = nh$, $K = nk$, $L = nl$, визначається за формулою [52]:

$$I_{hkl} = CL(\theta)/F_{hkl}^2 P_{hkl} e^{-2M} A(\theta), \quad (2.3)$$

де C – спільний для всіх ліній дифрактограми множник, залежний від довжини

хвилі випромінювання;

$|F_{hkl}|^2$ – структурний фактор.

$$F_{hkl} = \sum_{j=1}^N f_j e^{2\pi i(Hx_j + Ky_j + Lz_j)} \quad (2.4)$$

де f_j – атомна амплітуда розсіяння, залежить від порядкового номера елементу;

x_j, y_j, z_j – координати базисних атомів;

P_{HKL} – чинник повторюваності, що враховує число еквівалентних площин, що дають одну і ту ж дифракційну лінію. Він залежить від типу кристалічної ґратки і сорту площини;

e^{-2M} – температурний чинник;

$A(\theta)$ – чинник поглинання (залежить від досліджуваної речовини, довжини хвилі випромінювання і методу зйомки).

Від режиму роботи рентгенівського апарату залежить інтенсивність самих рефлексів, а саме: напруги на трубці; струму через трубку; розміру щілин, режиму роботи лічильника квантів рентгенівського випромінювання. Чим більша кількість даної фази тим більша інтенсивність. Якщо досліджуваний зразок складається з декількох фаз, то кожній фазі відповідатиме своя власна дифракційна картина. У цьому випадку дифрактограма є накладенням дифрактограм всіх наявних в досліджуваному зразку фаз [44, 45].

Мірою чутливості рентгенівського фазового аналізу є мінімальна кількість речовини в суміші, що дає достатній для визначення наявності цієї фази в зразку набір її характерних рефлексів. Для різних фаз і різних сумішей фаз чутливість є різною. Вона тим більша, чим вища відбивна здатність атомної площини фази, присутність якої треба виявити, і чим слабкіше фон дифрактограми [44, 45].

Якщо лінії фази, що визначається розмиті через наявність мікронапружень, або дисперсності зразка, або неоднорідності його за складом, або утворення твердого розчину, то чутливість рентгенівського фазового аналізу різко знижується [44, 45].

Чутливість фазового аналізу підвищується, якщо фаза, яку треба виявити, має текстуру, тобто кристали мають переважну орієнтацію якогось певного кристалографічного напрямку. Останнє призводить до того, що деякі лінії на

дифрактограмі посилюються, а деякі, навпаки, зникають. Наявність сильних ліній і дозволяє виявити меншу, ніж у відсутності текстури, кількість фази [45].

2.5 Висновки до розділу 2

1. Як об'єкт дослідження використано сталь 40Х13. В якості анодів використовують хром, титан та залізо.

2. Обрано оптимальний комплекс методик дослідження отриманих покриттів, який включає гравіметричний, мікроструктурний, мікродюрометричний та рентгеноструктурний аналізи, що дозволяє аналізувати дані та всебічно вивчити досліджувані процеси та явища.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Метою даної роботи є дослідження формування мікроструктури, фазового складу та мікротвердості поверхневих шарів сталі 40X13 після комплексної обробки у послідовності: пошарове електроіскрове легування (хромовим, титановим та залізними анодами) з наступним іонно–плазмовим азотуванням та у зворотній послідовності. Для досягнення поставленої мети було проведено ЕІЛ Fe, Cr, Ti сталі 40X13 на повітрі, при діючій напрузі $U = (60 - 70) \text{ В}$, струмі обробки $I = (2 - 2,5) \text{ А}$, впродовж 7 хв. Іонно-плазмове азотування проводили у середовищі 50 % N_2 +50 % Ar, впродовж 6 годин за температури 570 °С. Після кожного виду обробки було проведено мікродюрOMETричний, мікроструктурний, гравіметричний та рентгеноструктурний аналізи зразків.

3.1 Мікроструктура та мікротвердість поверхні сталі 40X13 після пошарового ЕІЛ Fe, Cr, Ti у різних послідовностях

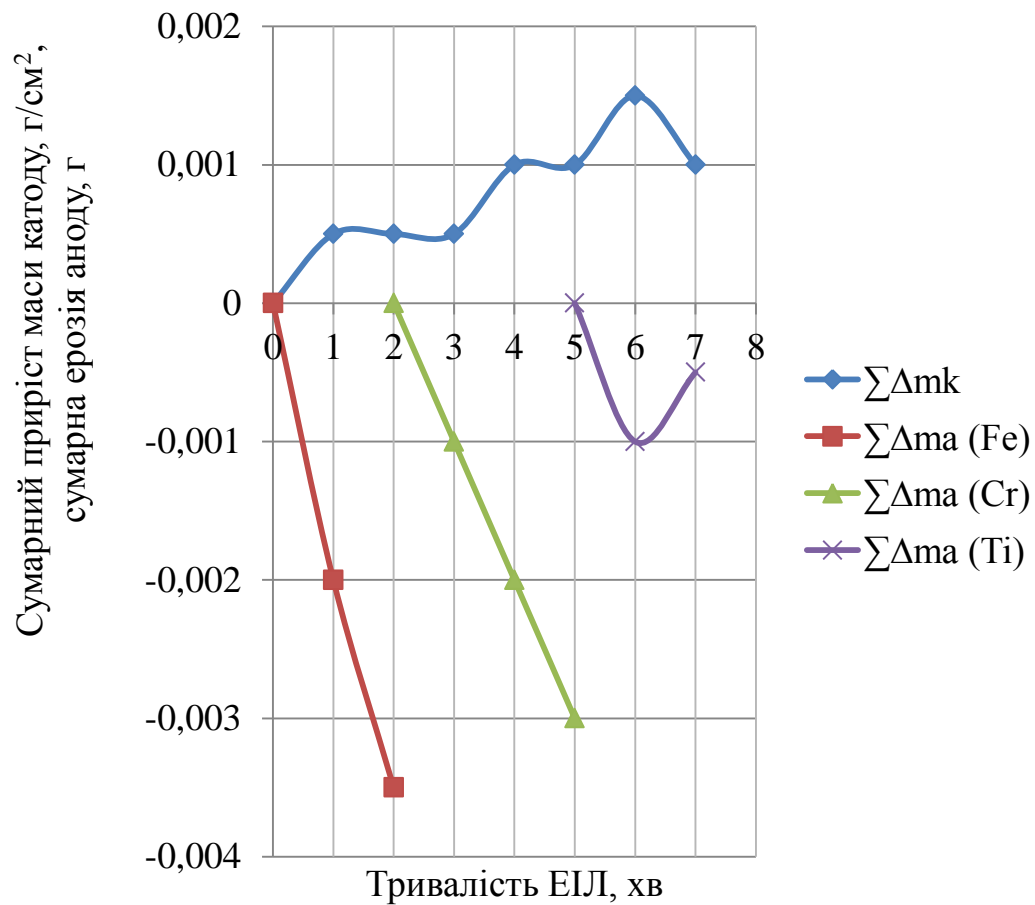
Для отримання зміцнених покриттів на сталі 40X13 ЕІЛ проводили з почерговим нанесенням залізом, хромом та титаном.

Кінетику формування легованого шару визначали гравіметричним аналізом, контролюючи масу катоду та легувальних анодів після кожної хвилини легування.

За даними гравіметричного аналізу побудовані кінетичні криві масоперенесення матеріалу з аноду на катод (рис. 3.1).

Як видно з рисунка 3.1 приріст маси катоду на всіх стадіях легування Fe, Cr, Ti збільшується. При легуванні Fe та Cr відбувається масоперенесення матеріалу аноду на катод, тільки під час легування Ti відбувається зворотній процес, що ми і спостерігаємо на рис 3.1. У межах процесу легування зменшення залізного аноду відбувається інтенсивніше за ерозію титанового. Це

можна пояснити нижчим значенням температури плавлення заліза (1808 K) у порівнянні з титановим (1943 K).



$\Sigma\Delta m_k$ – сумарний приріст маси катоду, $\Sigma\Delta m_a$ (Fe) – сумарна ерозія аноду при легуванні Fe, $\Sigma\Delta m_a$ (Cr) – сумарна ерозія аноду при легуванні Cr, $\Sigma\Delta m_a$ (Ti) – сумарна ерозія аноду при легуванні Ti

Рисунок 3.1 – Кінетичні криві масоперенесення в процесі ЕІЛ сталі 40Х13 у послідовності Fe – Cr – Ti

На рис. 3.2 зображено мікроструктуру отриманого зміцненого шару зразка сталі 40Х13 після ЕІЛ анодами у послідовності Fe – Cr – Ti

Мікроструктура зміцнених шарів складається з легованого шару, зони термічного впливу та мікроструктури матеріалу основи. Зона легованого шару має товщину (20 – 25) мкм. У зоні термічного впливу спостерігається

подрібнення зерен, що обумовлене короткочасним періодичним процесом нагріву з наступним швидким охолодженням.

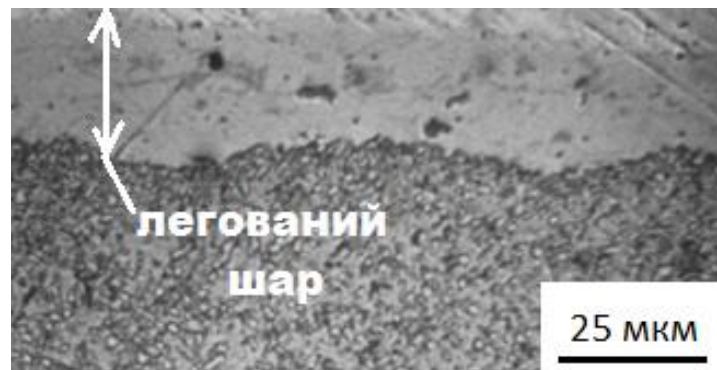


Рисунок 3.2 – Мікроструктура поверхневої зони сталі 40X13 після ЕІЛ
Fe – Cr – Ti

За результатами мікродюрметричного аналізу побудовано графік залежності мікротвердості поверхневого шару сталі 40X13 від відстані до поверхні після ЕІЛ анодами у послідовності Fe – Cr – Ti (рис. 3.3).

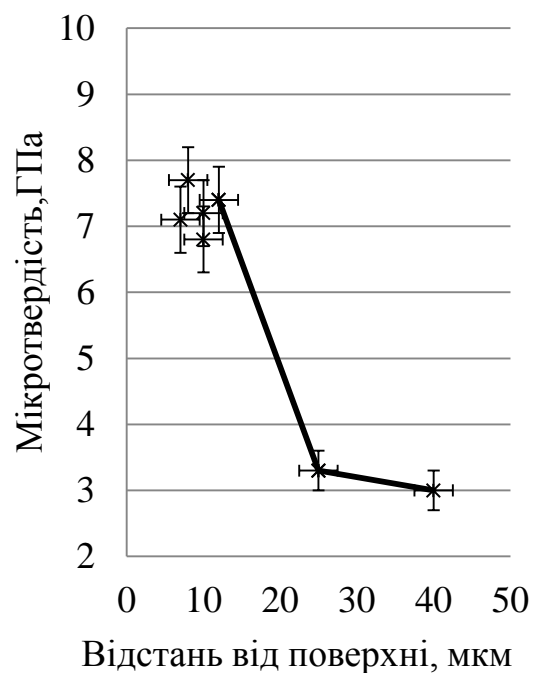
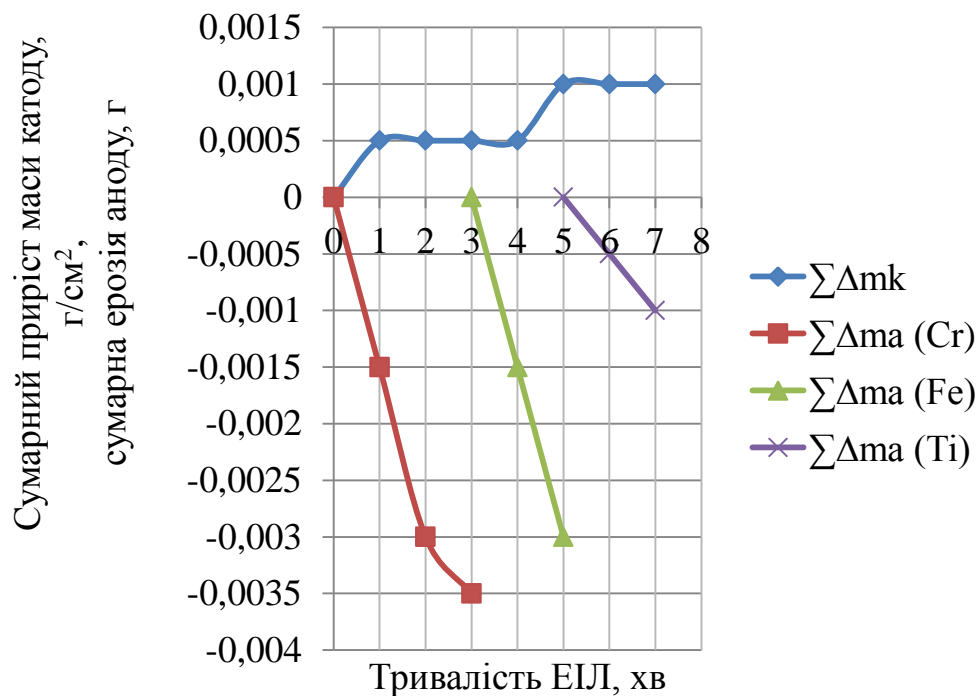


Рисунок 3.3 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі 40X13,
ЕІЛ (Fe – Cr – Ti)

Зі збільшенням відстані від поверхні зразка, мікротвердість поверхневої зони плавно зменшується від 7,7 ГПа і досягає значення твердості сталі 40X13, яке становить (2,7 – 3) ГПа на глибині 40 мкм. Таке підвищення мікротвердості може бути зумовлене формуванням дисперсних карбідів, нітридів та інтерметалідів Cr та Ti при взаємодії з азотом повітря та вуглецем сталі 40X13.

Кінетичні криві масоперенесення матеріалу з аноду на катод подані на (рис. 3.4).



$\Sigma\Delta m_k$ – сумарний приріст маси катоду, $\Sigma\Delta m_a (Fe)$ – сумарна ерозія аноду при легуванні Fe, $\Sigma\Delta m_a (Cr)$ – сумарна ерозія аноду при легуванні Cr, $\Sigma\Delta m_a (Ti)$ – сумарна ерозія аноду при легуванні Ti

Рисунок 3.4 – Кінетичні криві масоперенесення в процесі ЕІЛ сталі 40X13 у послідовності Cr– Fe– Ti

Як видно з рис. 3.4 приріст маси катоду на всіх стадіях легування збільшується. Сумарна ерозія анодів зростає при кожній хвилині легування. Отже, під час електроіскрового легування сталі 40X13 з почерговим

нанесенням хрому, заліза та титану проходить процес масоперенесення матеріалів анодів на матеріал катоду.

Мікротвердість поверхневої зони сталі 40X13 після ЕІЛ анодами у послідовності Cr– Fe– Ti представлено на рис. 3.5, мікроструктура (рис. 3.6).

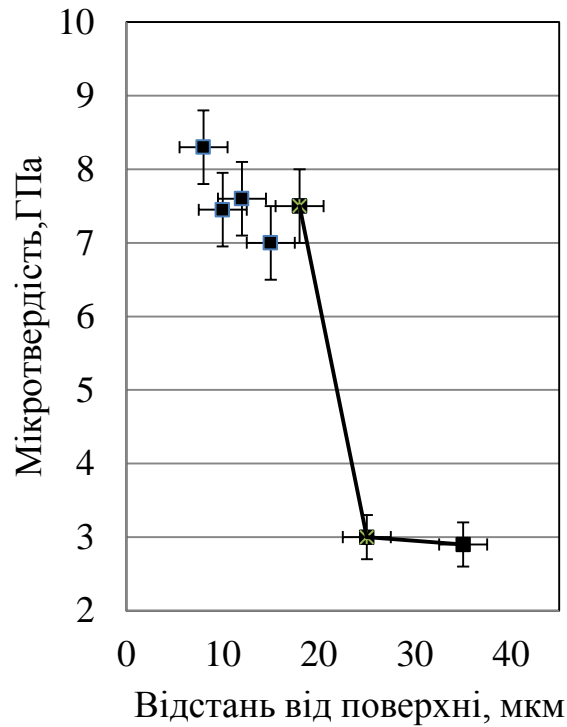


Рисунок 3.5 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі 40X13, ЕІЛ (Cr– Fe– Ti)

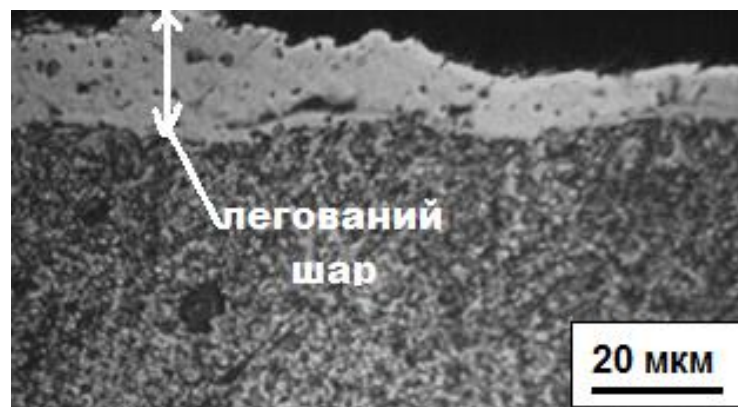
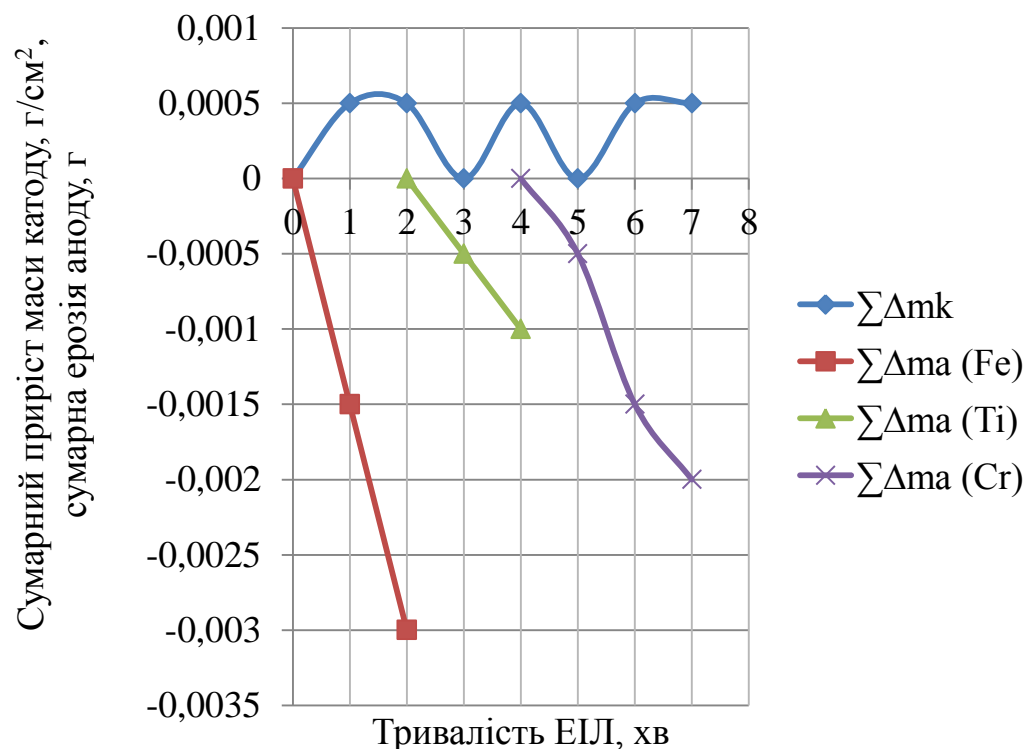


Рисунок 3.6 – Мікроструктура поверхневої зони сталі 40X13 після ЕІЛ Cr– Fe– Ti

Мікротвердість легованої зони коливається від 7 ГПа до 8,3 ГПа. На рис. 3.6 наведено фотографію мікроструктури зміцненого шару зразка сталі 40X13 після ЕІЛ у послідовності Cr– Fe– Ti. Зона легованого шару має товщину (10 – 20) мкм.

Проведено ЕІЛ сталі 40X13 з почерговим нанесенням анодів у послідовності Fe – Ti – Cr. Кінетику масоперенесення показано на рис. 3.7.



$\sum \Delta m_k$ – сумарний приріст маси катоду, $\sum \Delta m_a (Fe)$ – сумарна ерозія аноду при легуванні Fe, $\sum \Delta m_a (Cr)$ – сумарна ерозія аноду при легуванні Cr, $\sum \Delta m_a (Ti)$ – сумарна ерозія аноду при легуванні Ti

Рисунок 3.7 – Кінетичні криві масоперенесення в процесі ЕІЛ сталі 40X13 у послідовності Fe – Ti – Cr

Сумарний приріст маси катоду збільшується при легуванні залізом, а при легуванні титаном - змінюється стрибкоподібно. Це може бути пов'язано з тим, що матеріал аноду випаровується з поверхні катоду. Більш інтенсивна ерозія спостерігається для залізного аноду.

МікродюрOMETричний аналіз сталі 40X13 після ЕІЛ (Fe – Ti – Cr) показав, що на відстані (7-12) мкм мікротвердість зросла до 9,1 ГПа (рис. 3.8), мікроструктура зображена на рис. 3.9.

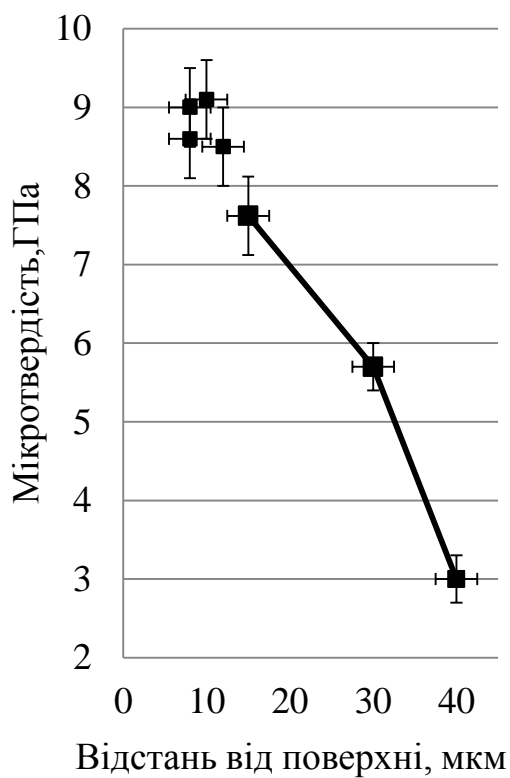


Рисунок 3.8 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі 40X13, ЕІЛ (Fe – Ti – Cr)

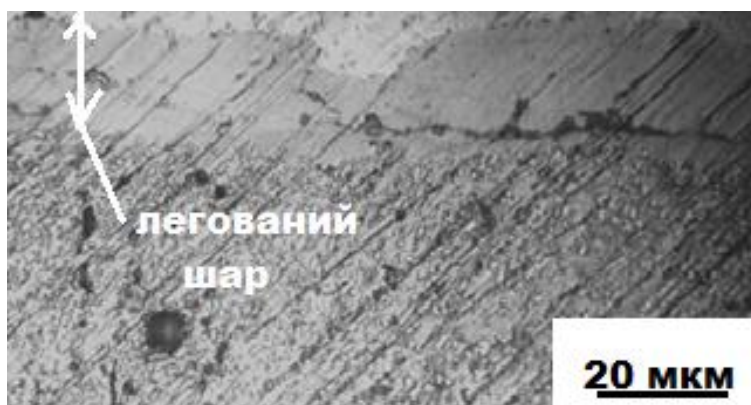


Рисунок 3.9 – Мікроструктура поверхневої зони сталі 40X13 після ЕІЛ Fe – Ti – Cr

Результати мікроструктурного аналізу сталі 40X13 після ЕІЛ анодами у послідовності Fe – Ti – Cr наведені на рис. 3.9.

Зона легованого шару має товщину (15 – 20) мкм.

За результатами отриманих даних після ЕІЛ можна зробити наступні висновки:

- електроіскрове легування сталі 40X13 анодами заліза, хрому та титану призводить до підвищення мікротвердості легованого шару від 7,3 ГПа до 9,1 ГПа;
- товщина легованих шарів для всіх зразків становить (15-25) мкм, всі є суцільними і рівномірними;
- при послідовності ЕІЛ (Fe – Ti – Cr) спостерігається найбільше значення мікротвердості 9,1 ГПа.

3.2 Мікроструктура, фазовий склад та мікротвердість поверхні сталі 40X13 після електроіскрового легування Fe ,Cr ,Ti та наступного іонно-плазмового азотування

Проведено ІА зразків сталі 40X13 , які були попередньо піддані ЕІЛ сталі 40X13 при різній послідовності заліза, хрому та титана.

Після комплексної обробки ЕІЛ (Fe – Cr – Ti) та ІА товщина легованого шару змінюється у межах (15-20) мкм, а товщина азотованого шару становить (60-70) мкм (рис. 3.10).

Комбінована обробка зразка сталі 40X13 ЕІЛ (Fe – Cr – Ti) та наступним іонно-плазмовим азотуванням призвела до збільшення мікротвердості поверхні зразка.

Для даного зразка (рис. 3.11) на відстані (10-15) мкм мікротвердість легованої зони коливається у межах від 9,6 ГПа до 10,5 ГПа.

Мікротвердість азотованого шару на відстані 50 мкм становить 4,5 ГПа.

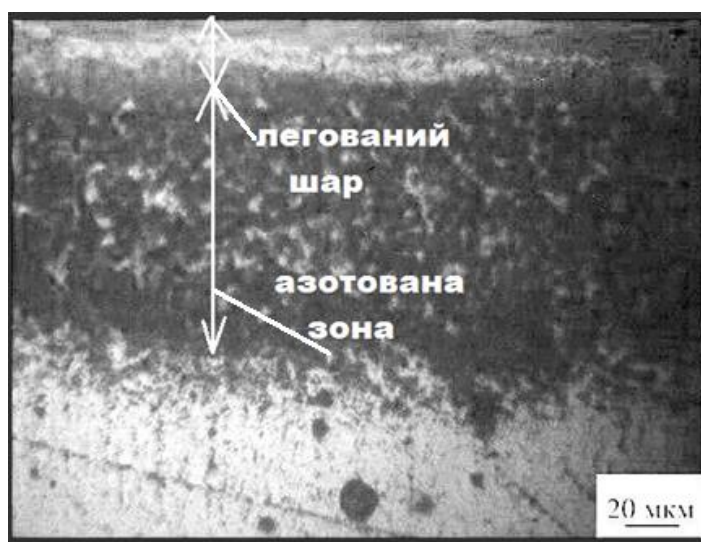


Рисунок 3.10 – Мікроструктура поверхневої зони сталі 40X13 після ЕІЛ (Fe – Cr – Ti) та наступного ІА (570 °С, t = 6 год)

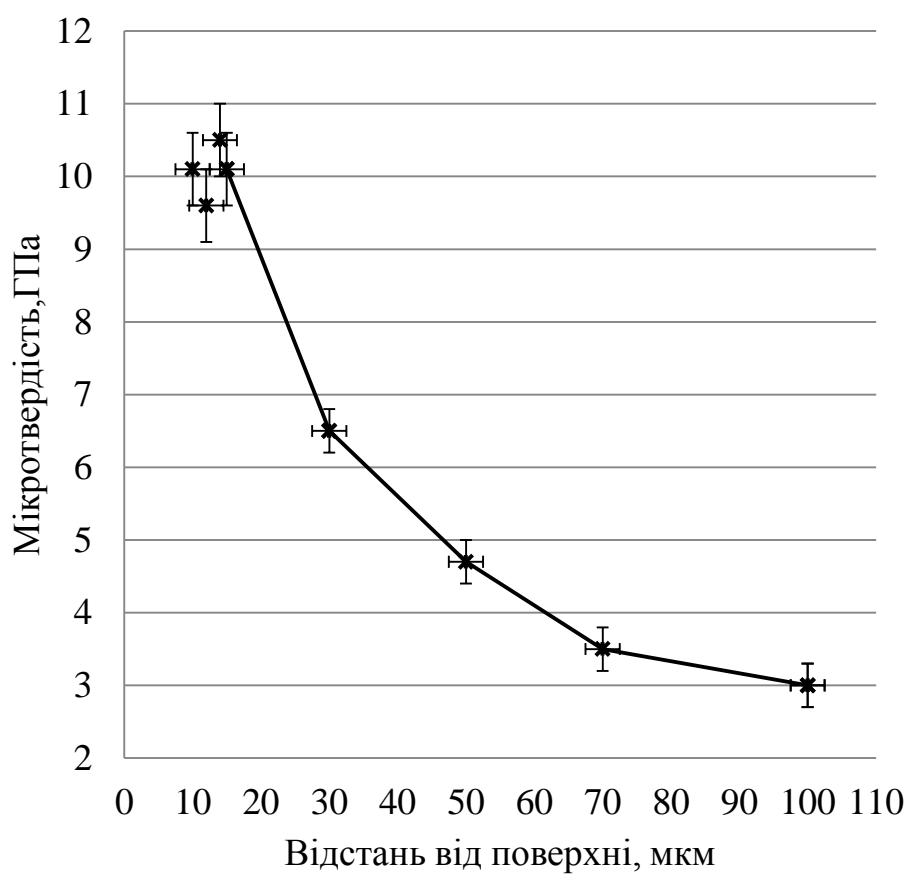


Рисунок 3.11 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі 40X13, ЕІЛ (Fe – Cr – Ti) з наступного ІА (570 °С, t = 6 год)

На рисунку 3.12 наведено дифрактограму, отриману від зразка сталі 40X13 після ЕІЛ (Fe – Cr – Ti) з наступним ІА. Окрім дифракційних максимумів від твердого розчину α -Fe-Cr на дифрактограмі наявні рефлекси від нітридів заліза Fe_3N , Fe_4N і хрому CrN , що свідчить про інтенсивне насичення поверхневого шару азотом. Підвищення мікротвердості попередньо легованого шару після азотування пов'язано з формуванням нітридних фаз Ti і Cr, які активно взаємодіють з азотом і вуглецем.

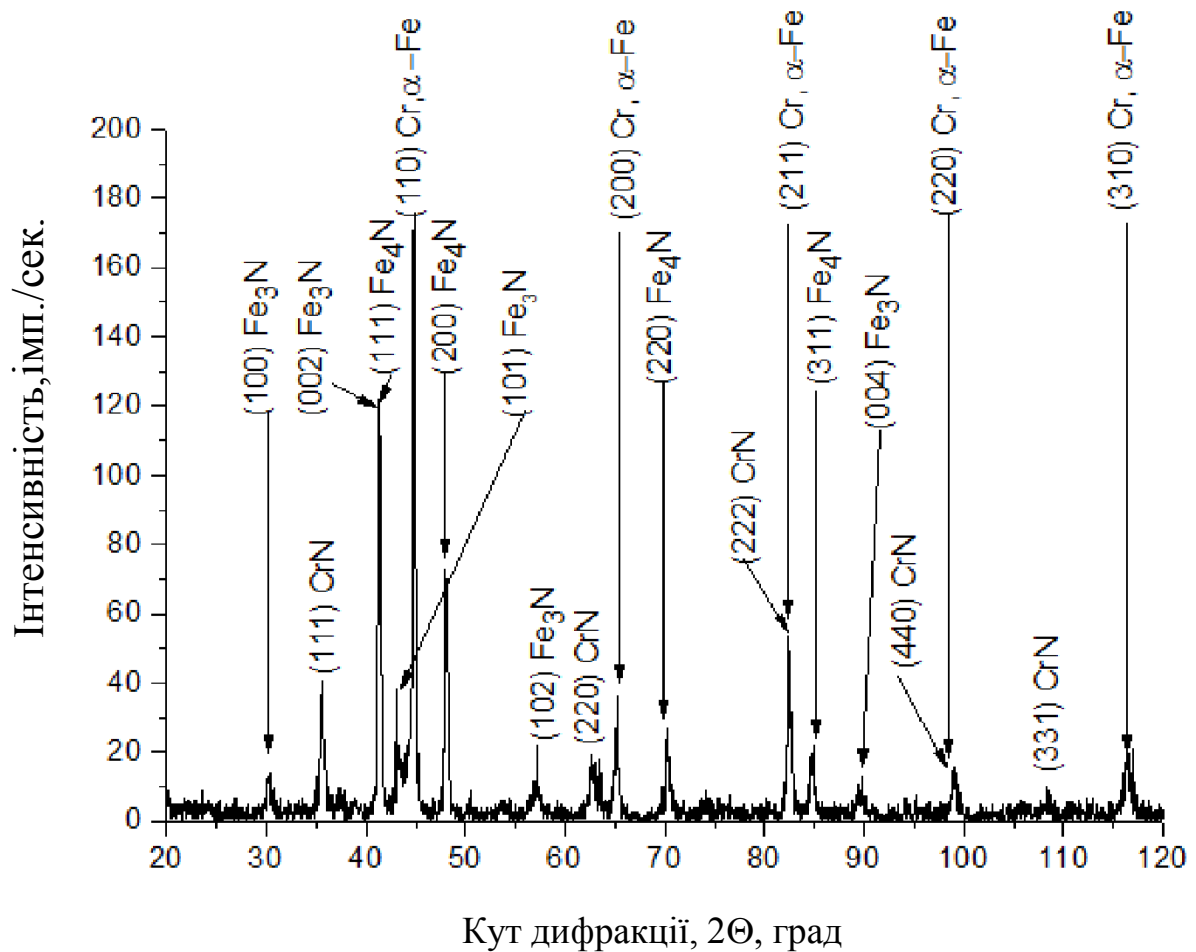


Рисунок 3.12 – Дифрактограма сталі 40X13 після ЕІЛ (Fe – Cr – Ti) з наступного ІА (570 °С, $t = 6$ год), у випромінюванні $\lambda_{\text{K}\alpha}$ -Cu

Після ІА сталі 40X13, поверхня якої була піддана ЕІЛ у послідовності Cr– Fe– Ti товщина легованого шару становить (20-25) мкм, а протяжність азотованої зони - 20 мкм (рис. 3.13), що значно менше ніж для зразка, який був оброблений ЕІЛ у послідовності (Fe – Cr – Ti) з наступним ІА.

Таке зменшення протяжності азотованої зони може бути пов'язано з тим, що при легуванні титаном – активним нітридоутворюючим елементом на останній стадії ЕІЛ призводить до утворення зони інтенсивного формування нітридів титану, що зменшує кількість азоту для дифузії в глиб зразка. Цьому сприяє і те, що титан має обмежену розчинність в залізі і більша його частина взаємодіє з азотом з утворенням нітридів. Відносно велика протяжність зміцненого азотованого шару у зразку, який був попередньо оброблений ЕІЛ у послідовності Fe – Cr – Ti можна пояснити тим, що при легуванні відбувається взаємна розчинність хрому і титану з утворенням твердого розчину Ti - Cr, що зменшує інтенсивність процесів утворення нітридів титану і більша частина азоту дифундує вглиб зразка.

Мікротвердість легованої зони після ІА сталі 40Х13, поверхня якої була піддана ЕІЛ у послідовності Cr– Fe– Ti варіюється від 8 ГПа до 9,2 ГПа (рис.3.13).

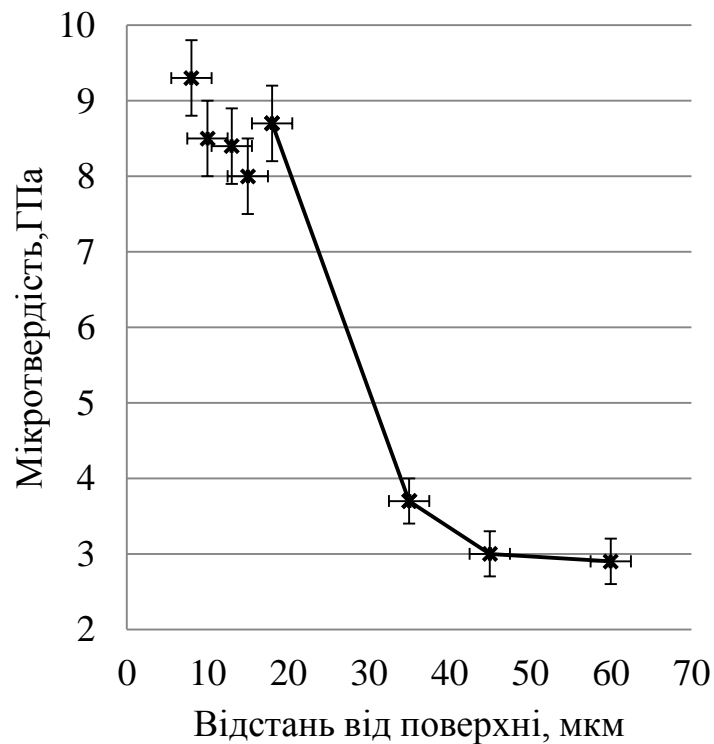


Рисунок 3.13 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі 40Х13, ЕІЛ (Cr– Fe– Ti) з наступного ІА (570 °С, t = 6 год)

Мікроструктуру зразка після комплексної обробки ЕІЛ анодами у послідовності Cr– Fe– Ti з наступним іонно-плазмовим азотуванням представлено на рис.3.14.

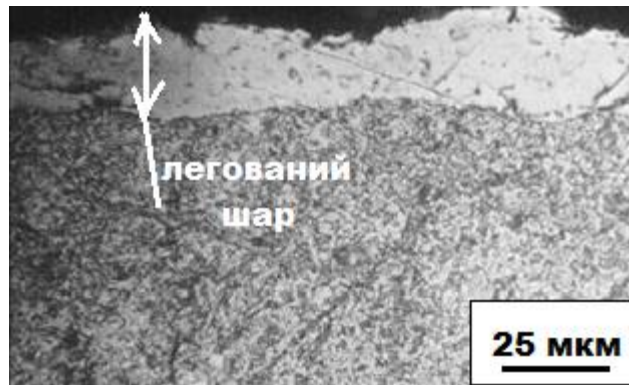


Рисунок 3.14 – Мікроструктура поверхневої зони сталі 40X13 після ЕІЛ (Cr– Fe– Ti) та наступного ІА (570 °С, t = 6 год)

Комплексна обробка зразка сталі 40X13 з попереднім ЕІЛ (Fe – Ti – Cr) та наступним ІА призвела до збільшення зони дифузійного зміцнення до (80-100) мкм, що найбільше для даного типу обробки (рис. 3.15) та (рис. 3.16). Мікроструктура досліджуваного зразка показана на рис.3.15.



Рисунок 3.15 – Мікроструктура поверхневої зони сталі 40X13 після ЕІЛ (Fe – Ti – Cr) та наступного ІА (570 °С, t = 6 год)

Зона легованого шару становить (15-20) мкм. Суттєве збільшення зони дифузійного зміцнення може бути пояснене зв'язуванням титану і хрому в твердому розчині $\text{Ti} - \text{Cr}$ в межах легованого шару, що буде сприяти дифузійному насиченні сталі азотом.

Мікротвердість легованого шару становить 10,7 ГПа. Зміцнена зона становить 110 мкм. На відстані 50 мкм, мікротвердість складає 6 ГПа.

На рисунку 3.17 наведено результати дифрактометричного аналізу зразка ЕІЛ ($\text{Fe} - \text{Ti} - \text{Cr}$) та наступне ІА.

У результаті індиціювання дифрактограми було встановлено наявність рефлексів від ($\alpha\text{-Fe}$, Cr), Fe_3N , Fe_4N , CrN .

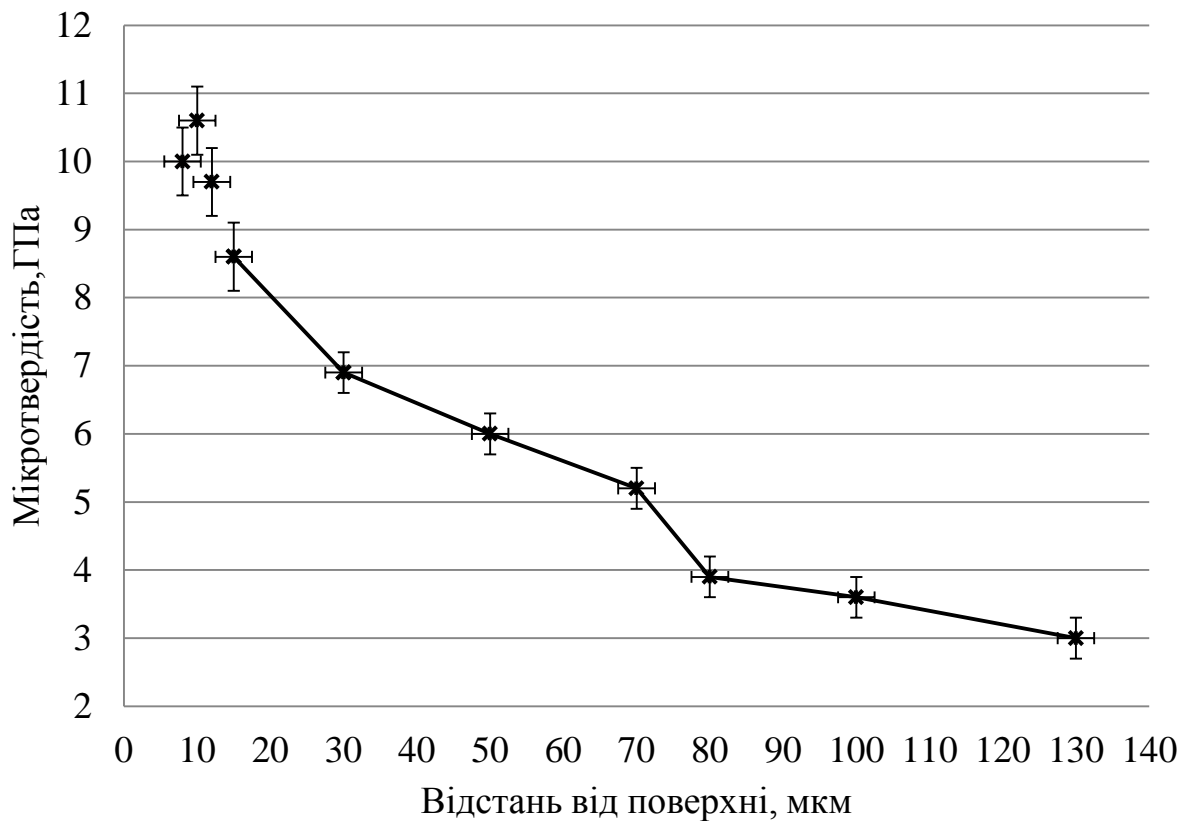


Рисунок 3.16 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі 40X13, ЕІЛ ($\text{Fe} - \text{Ti} - \text{Cr}$) з наступного ІА (570 °C, $t = 6$ год)

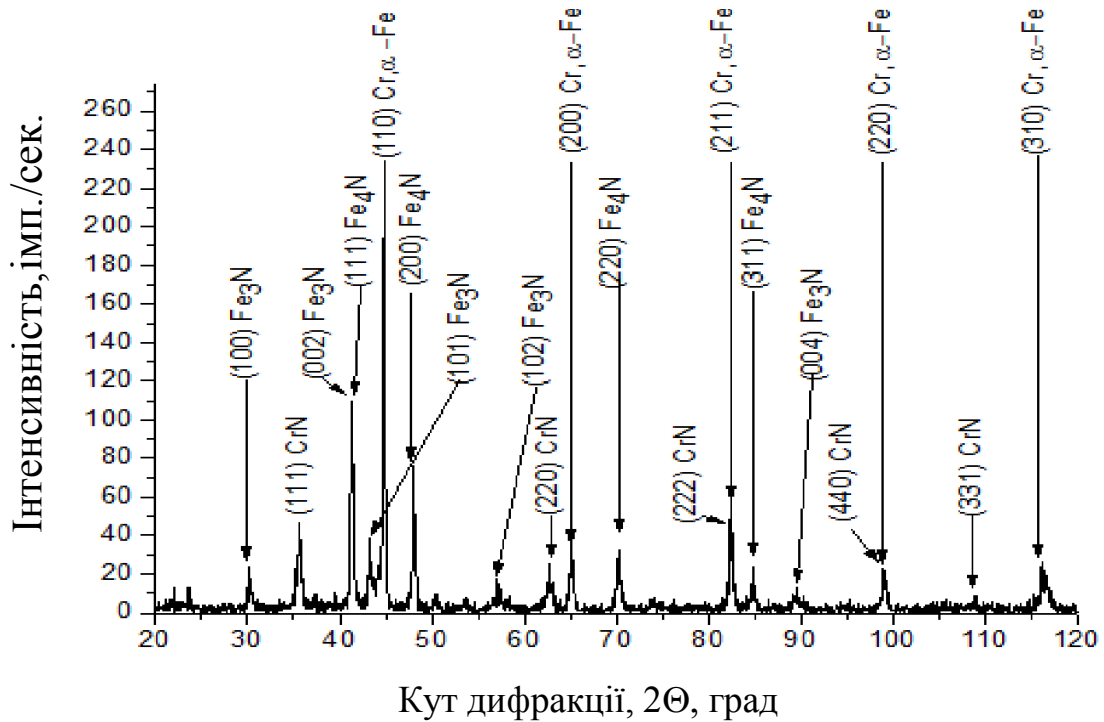


Рисунок 3.17 – Дифрактограма сталі 40X13 після ЕІЛ (Fe – Ti – Cr) з наступного ІА (570 °С, t = 6 год), у випромінюванні $\lambda_{K\alpha}$ -Cu

Проведений аналіз отриманих даних засвідчує, що:

- послідовність ЕІЛ сталі 40X13 анодами Fe, Cr та Ti впливає на проходження процесу наступного азотування;
- найширший діапазон азотованої зони у зразка сталі 40X13 при ЕІЛ (Fe – Ti – Cr) з наступним ІА;
- при схемі легування Fe – Ti – Cr найбільше значення мікротвердості 9,1 ГПа;
- виявлені фази (α -Fe, Cr), Fe₃N, Fe₄N, CrN сприяють підвищенню мікротвердості.

3.3 Мікроструктура та властивості поверхні сталі 40X13 після ІА з наступним електроіскровим легування Fe, Ti, Cr

Проведена комплексна обробка зразка сталі 40X13 яка полягала в попередньому ІА та наступному ЕІЛ анодами Fe, Cr, Ti в різних послідовностях.

ЕІЛ у послідовності Fe – Cr – Ti азотованого зразка призвело до формування легованої зони товщиною (15-20) мкм (рис. 3.19) і мікротвердістю до 11,1 ГПа (рис. 3.18). Зміцнена зона становить 160 мкм. Мікротвердість азотованого шару змінюється від 7 ГПа до 4,3 ГПа на відстані 100 мкм від поверхні зразка.

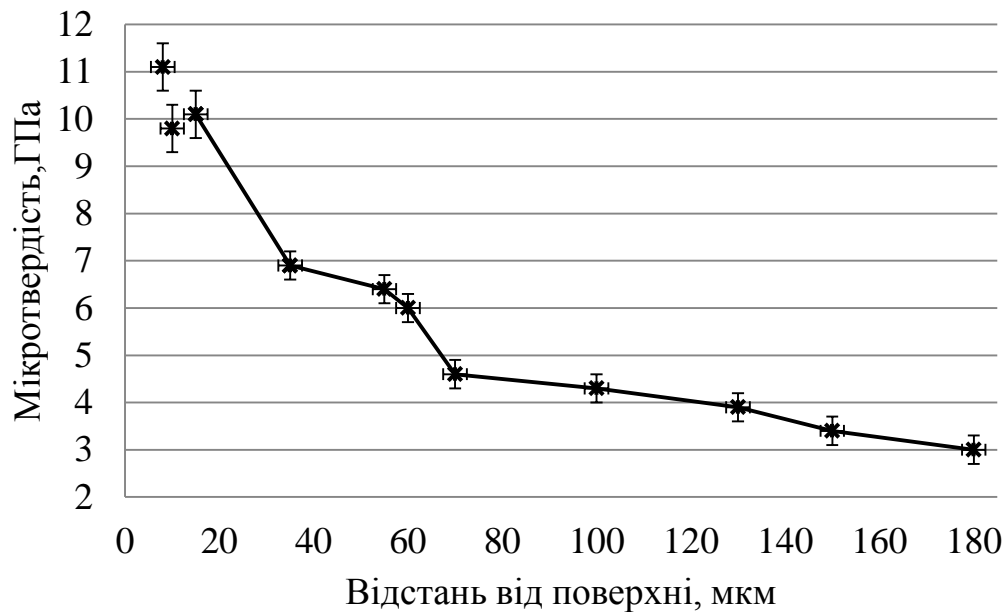


Рисунок 3.18 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі 40Х13, ІА (570 °С, t = 6 год) та наступного ЕІЛ (Fe – Cr – Ti)

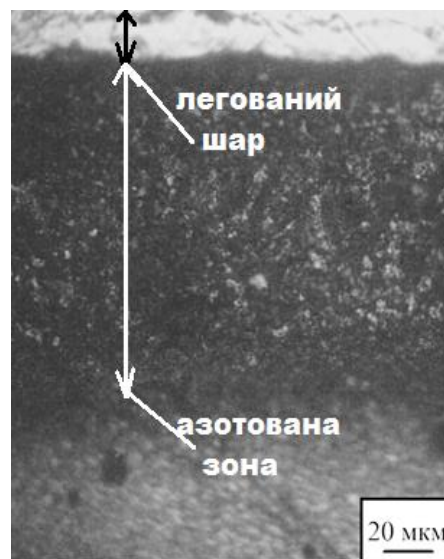


Рисунок 3.19 – Мікроструктура поверхневої зони сталі 40Х13 після ІА (570 °С, t = 6 год) та наступного ЕІЛ (Fe – Cr – Ti)

ЕІЛ у послідовності Cr– Fe– Ti азотованого зразка призвело до формування легованої зони товщиною (10 – 15) мкм. (рис. 3.21) і мікротвердістю до 8,5 ГПа (рис. 3.20).

Структура зміцненої зони складається з легованого шару, зони дифузійного зміцнення та структури матеріалу основи. Дифузійна зона становить 85 мкм.

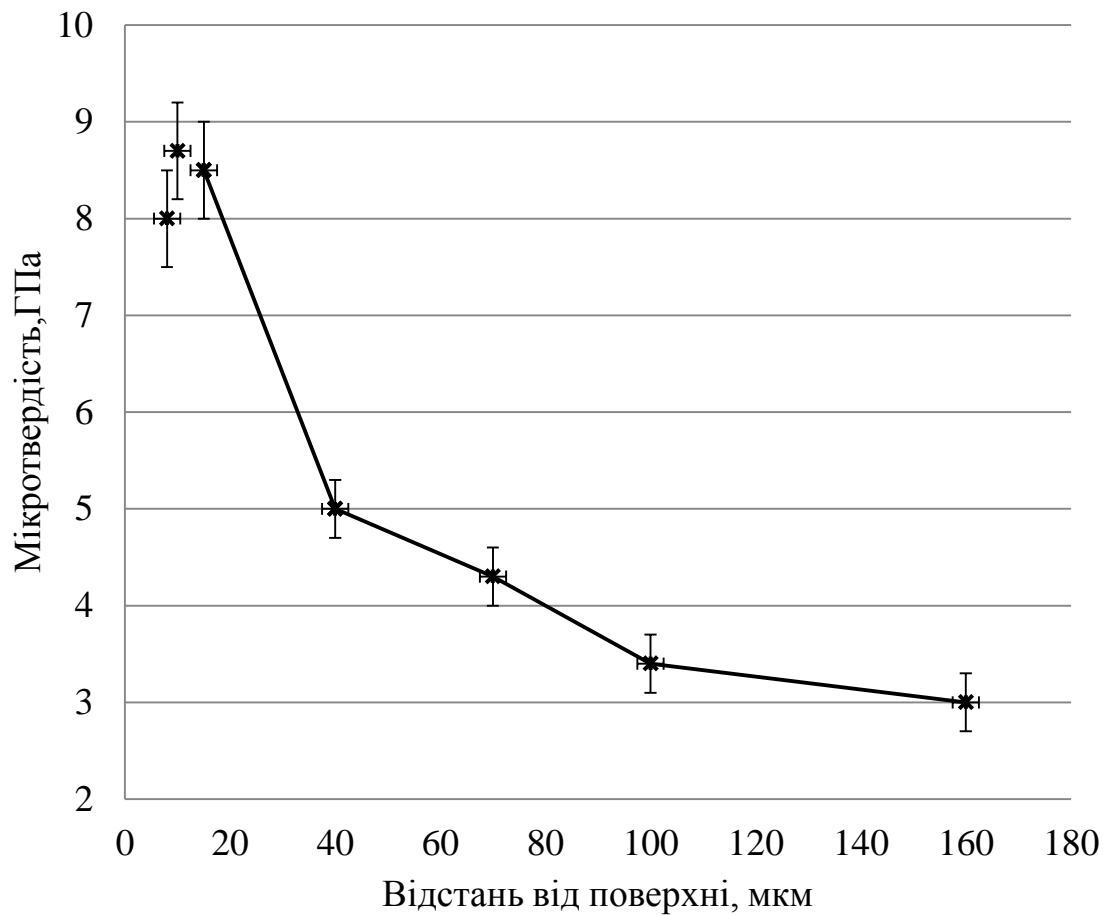


Рисунок 3.20 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі 40X13, з ІА (570 °С, t = 6 год) та наступного ЕІЛ (Cr– Fe– Ti)

Аналіз графіку залежності, представленого на рис. 3.20, дає підстави стверджувати про значне підвищення мікротвердості поверхневих шарів сталі 40X13 за рахунок насичення азотом.



Рисунок 3.21 – Мікроструктура поверхневої зони сталі 40X13 після ІА (570 °С, $t = 6$ год) та наступного ЕІЛ (Cr– Fe– Ti)

Комбінована обробка зразка сталі 40X13 після ІА та наступного ЕІЛ в послідовності (Fe – Ti – Cr) призвела до зростання мікротвердості легованої зони до 10, 2 ГПа. Протяжність легованої зони (10-15) мкм, а зміцненої зони 110 мкм (рис. 3.22 - 3.23).

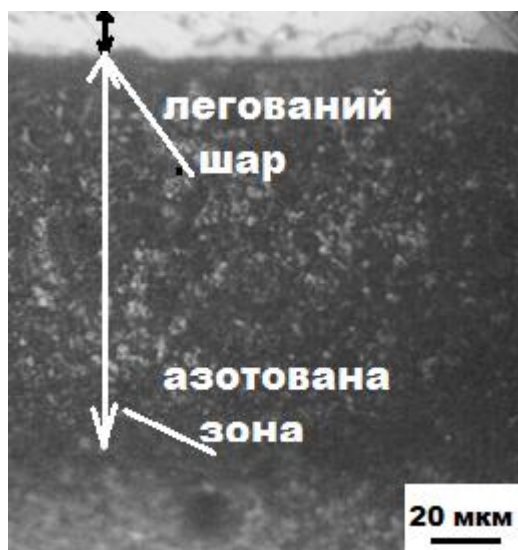


Рисунок 3.22 – Мікроструктура поверхневої зони сталі 40X13 після ІА (570 °С, $t = 6$ год) та наступного ЕІЛ (Fe – Ti – Cr)

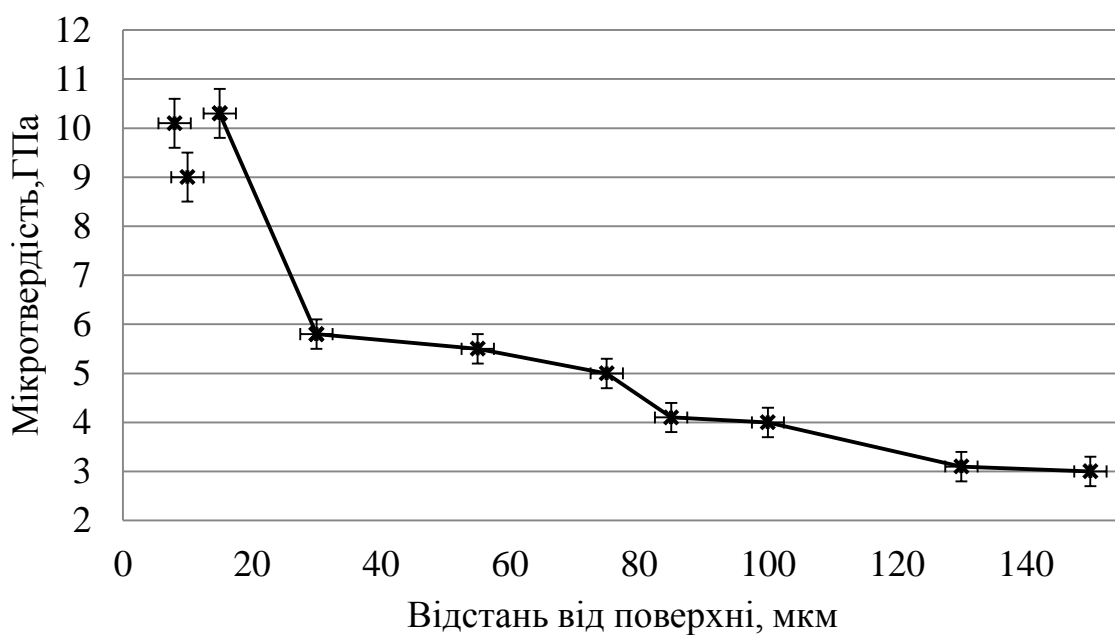


Рисунок 3.23 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі 40X13, з ІА (570 °С, $t = 6$ год) та наступного ЕІЛ (Fe – Ti – Cr)

Рентгенофазовий аналіз показав, що після ІА з наступним ЕІЛ на дифрактограмі наявні рефлексів від (α -Fe, Cr), Fe_3N , Fe_4N , CrN (рис. 3.24 – рис. 3.25).

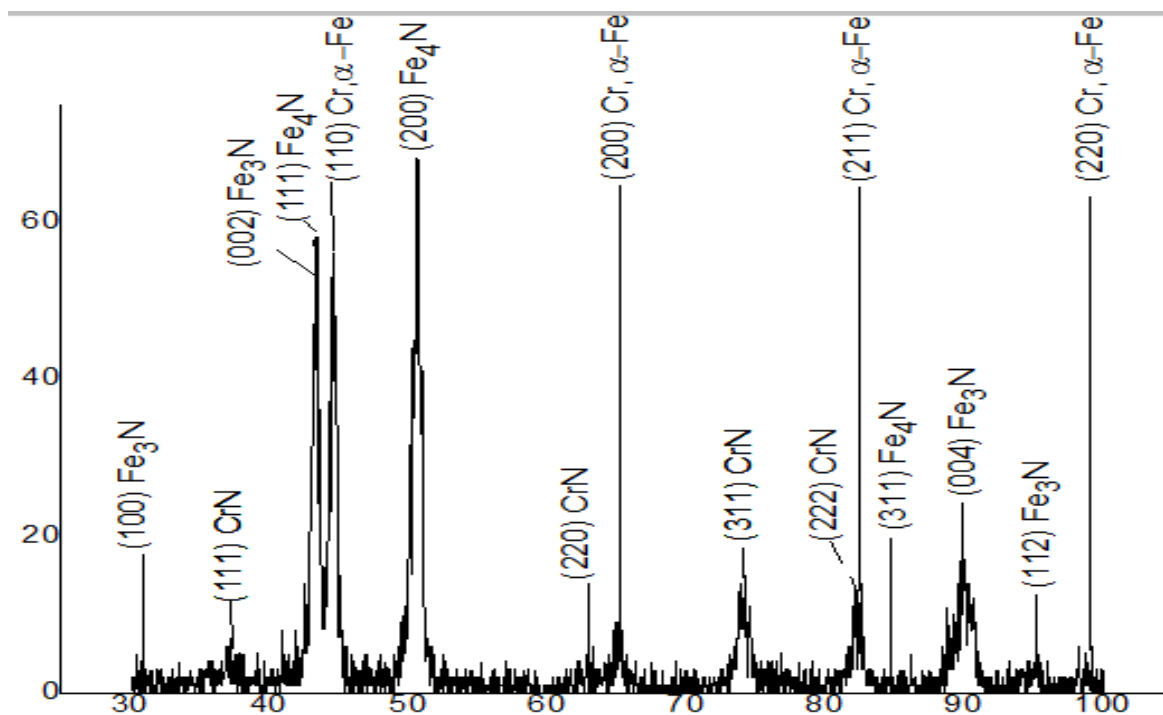


Рисунок 3.24 – Дифрактограма сталі 40X13 після ІА (570 °С, $t = 6$ год) з наступним ЕІЛ (Fe – Cr – Ti), у випромінюванні $\lambda_{\text{K}\alpha}$ -Cu

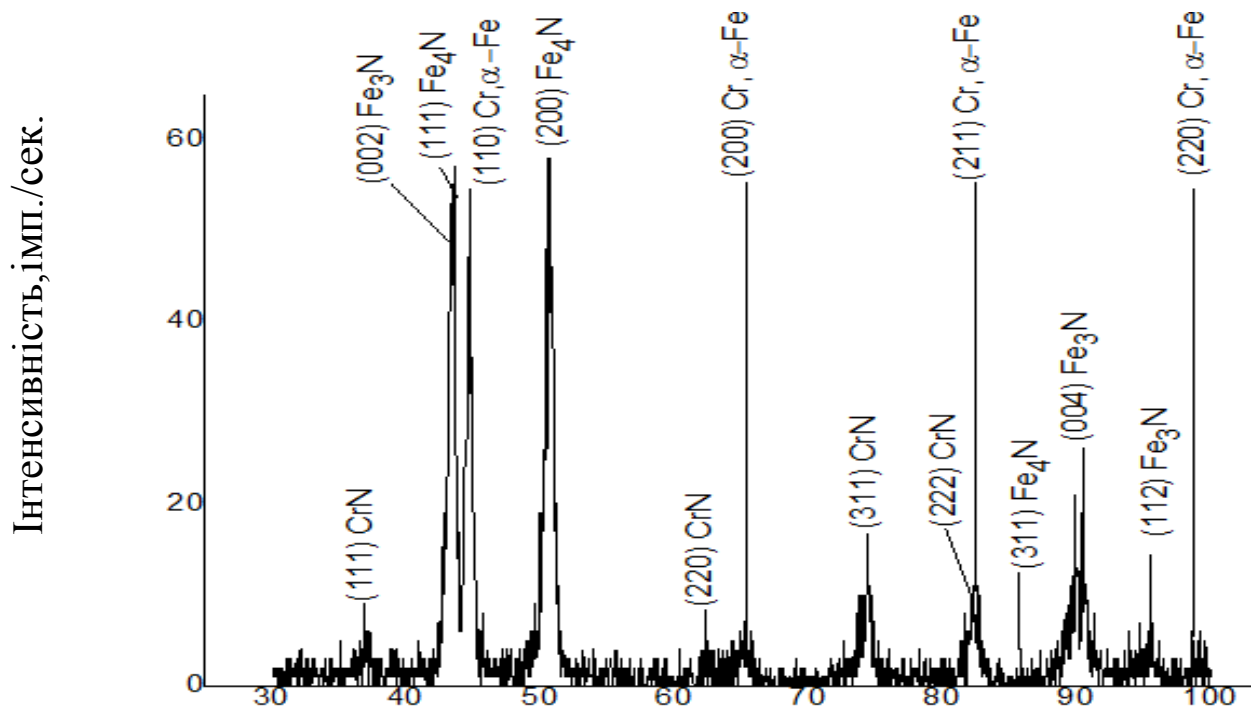


Рисунок 3.25 – Дифрактограма сталі 40X13 після ІА (570 °С, $t = 6$ год) з наступним ЕІЛ (Fe – Ti – Cr), у випромінюванні $\lambda_{K\alpha}$ -Cu

Отримані в результаті комплексної обробки сталі 40X13 результати дозволяють зробити наступні висновки, що

- ІА+ЕІЛ сприяє підвищенню мікротвердості сталі 40X13 до 11,1 ГПа у залежності від послідовності легування залізом, хромом та титаном;
- товщина легованого шару після азотування менша, чим при попередньому ЕІЛ з наступним ІА.

3.4 Порівняльна характеристика структури та властивостей сталі 40X13 у результаті комплексної обробки ІА та ЕІЛ

Досліджено структуру та властивості легованого шару отриманого методом електроіскрового легування сталі 40X13 залізом, титаном та хромом анодами у різній послідовності та іонно-плазмового азотування за допомогою гравіметричного, мікроструктурного, мікродюрOMETричного, рентгено-структурного аналізу.

Товщина зміцненої зони коливається у межах (40-160) мкм (рис. 3.26). Найбільша зміцнена зона при обробці у послідовності IA + EІЛ (Fe – Cr – Ti), вона становить 160 мкм. Найменша протяжність зміцненої шару спостерігається у послідовності обробка EІЛ (Cr– Fe– Ti) + IA, товщина зміцненої зони становить 40 мкм. Можливо це пов'язано з тим, що хром був першим легуючим елементом і утворив карбіди які певним чином завадили проходженню процесу азотування.

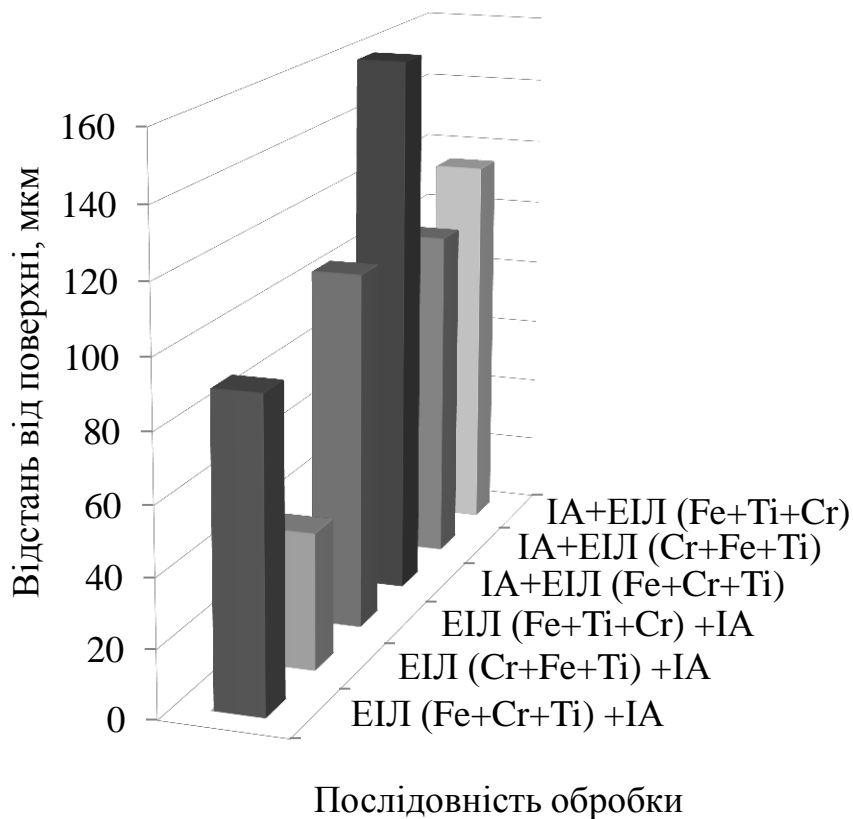


Рисунок 3.26 – Залежність величини зміцненої зони від виду обробки

Більша товщина зміцненої зони при IA з наступним EІЛ (Fe – Cr – Ti) пов'язана з тим, що кількість нітридних фаз проникнення ($(Fe, Cr)_4N$ та $(Fe, Cr)_nN$), які утворилися при азотуванні для даного зразка найбільша. Характерною рисою процесу є розчинення заліза у нітриді хрому та розчинення

хрому у нітриді заліза. Це призвело до зростання мікротвердості, залежність якої показано на рис. (3.27-3.28).

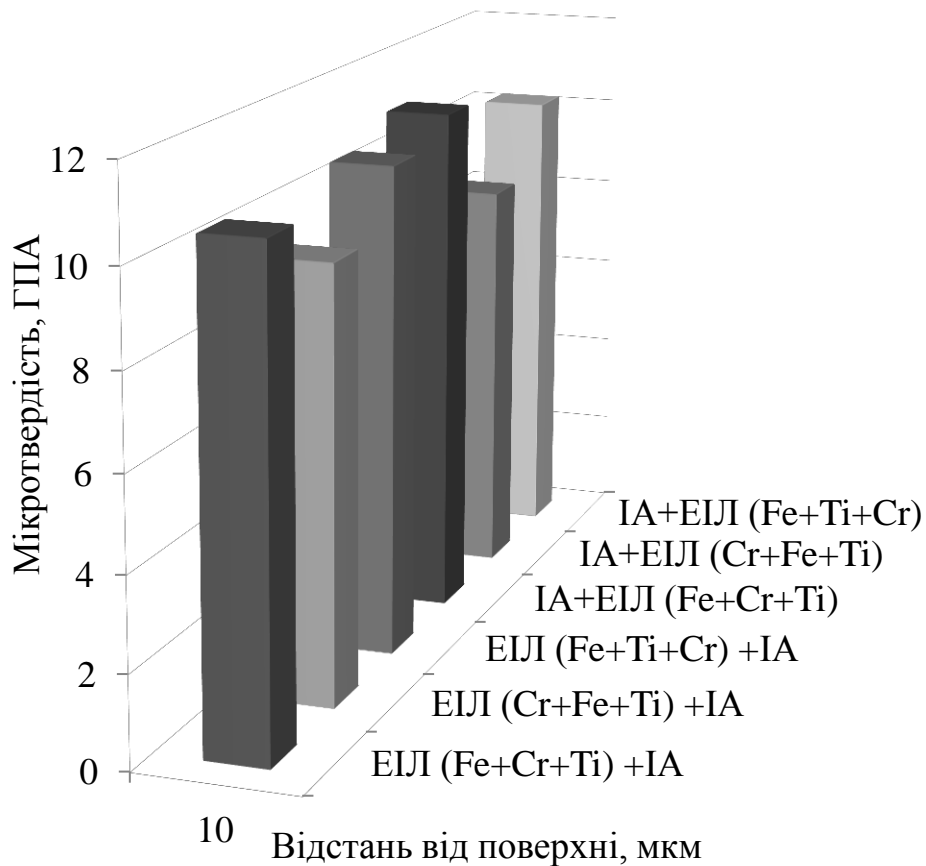


Рисунок 3.27 – Залежність мікротвердості від виду обробки на відстані 10 мкм

З рис.3. 27 бачимо, що на відстані 10 мкм мікротвердість легованого шару коливається у межах (8,7-11,1) ГПа для всіх типів обробки. Найбільше значення мікротвердості досягається при IA + EIL (Fe – Cr – Ti). Таке підвищення мікротвердості можна пояснити формування дисперсних карбідів, нітридів та інтерметалідів Cr таTi при взаємодії з азотом повітря та вуглецем сталі 40X13.

На відстані 50 мкм від поверхні найкращу мікротвердість має обробка типу IA + EIL (Fe – Cr – Ti), що ми і бачимо на рис. 3.28. Для всіх типів обробки у зразків у яких перший легований шар залізо спостерігається вище значення мікротвердості чим тоді, коли першим елементом легування був хром.

Можливо це пов'язано з тим, що хром, який знаходиться у сталі 40X13 інтенсивніше взаємодіє із залізом і утворює більшу кількість карбідів.

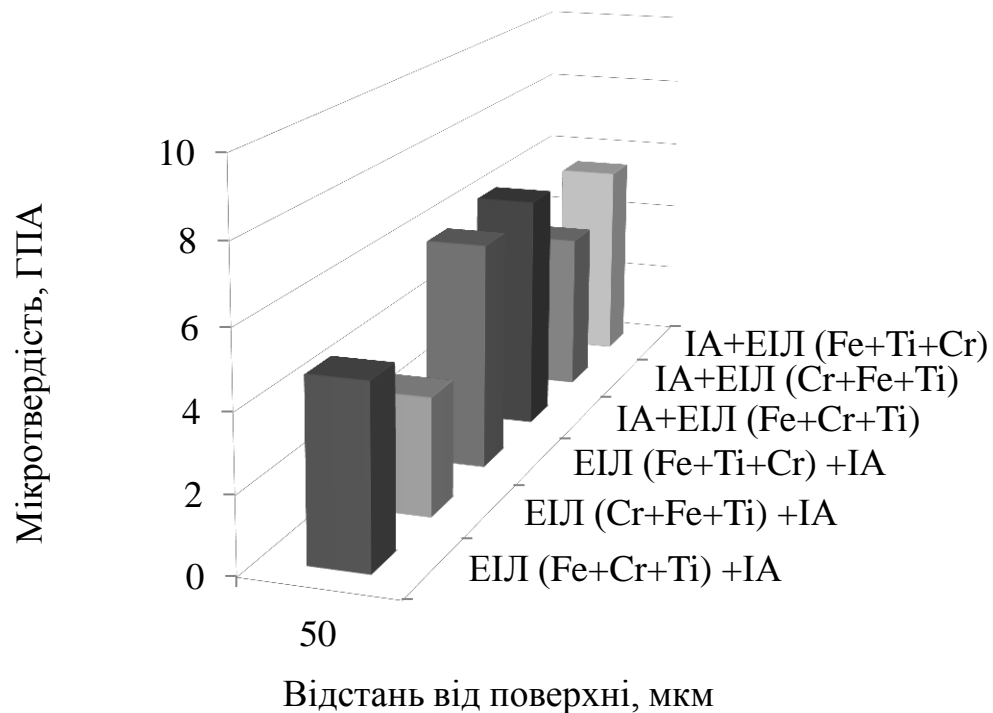


Рисунок 3.28 – Залежність мікротвердості від виду обробки на відстані 50 мкм

Результати рентгенофазового аналізу підтвердили наявність фаз (α -Fe, Cr, Fe_3N , Fe_4N , CrN), які підтверджує, що утворені нітриди заліза та хрому для сталі 40X13 підвищують мікротвердість поверхневих шарів.

3.5 Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що комплексна обробка (EIL+IA або IA+EIL) сталі 40X13 призводить до утворення легованого шару та зони дифузійного зміцнення. Товщина зміцненого шару для різних зразків змінюється від 40 мкм до 160 мкм.

2. Встановлено, що мікротвердість легованого шару варіюється у межах (8,7-11,1) ГПа.

3. Встановлено, утворені фази (α -Fe, Cr, Fe_3N , Fe_4N , CrN) у процесі комбінованої обробки (EIL+IA або IA+EIL) підвищують мікротвердість поверхневих шарів сталі 40X13.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП - ПРОЕКТУ

4.1 Актуальність

Мета розділу полягає у проведенні маркетингового аналізу стартап проекту для отримання можливості його ринкового впровадження та майбутніх напрямів реалізації даного виду обробки [46] .

Для забезпечення економії дорогих марок сталей, які використовують для виготовлення деталей у машинобудуванні, інструментів необхідно використовувати різні функціональні покриття на більш дешевших сталей. Це дозволить підвищити їх експлуатаційні властивості і скоротити затрати на їхнє виробництво. Ці покриття повністю задовольняють потреби машинобудування та металообробки [1].

Хіміко-термічна обробка – це один із основних способів зміцнення при поверхневих шарів металів та їх сплавів. Одним із різновидів ХТО є іонно-плазмове азотування (ІПА) – це досить ефективний метод обробки, який економічно вигідний у наш час [4].

Позитивним чином на властивості одержуваної дифузійної зони при азотуванні впливає наявність додаткових легуючих елементів у приповерхневій зоні. Нанесення легуючих елементів на оброблювану поверхню деталі можливо реалізувати методом електроіскрового легування (ЕІЛ). Цей метод достатньо простий у реалізації та за рахунок модифікування структури поверхневого шару та підвищує його фізико-механічні властивості (зносостійкість, твердість, міцність, корозійну тривкість та ін.) металів [3].

В останні роки досліджуються процеси комплексної обробки металів та сплавів, які полягають в послідовному проведенні електроіскрового легування та нанесення дифузійних шарів методом ІПА в результаті яких отримані шари мали покращені фізико-механічні властивості [2,3].

Ефективність використання різних технологій нанесення зміцнюючих покриттів, зокрема іонно-плазмового азотування та електроіскрового легування, встановлено, що найбільш оптимально застосовувати для підвищення стійкості ріжучих елементів і деталей машин є комбіноване поверхневе зміцнення.

4.2 Опис ідеї проекту

У межах підрозділу потрібно послідовно проаналізувати (таб. 4.1 - 4.2) деякі деталі [46]:

- ідея проекту (що запропонована);
- можливі напрямки використання;
- основні переваги, що може застосовувати користувач товару (за всіма напрямками користування);
- яка відмінність від вже наявних аналогів та замінників (які представлені на ринку);
- визначити, що слугуватиме рушійною силою розвитку стартапа.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту [46]

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Захисне та відновлювальне іонно-плазмове азотування та електроіскрове легування деталей ДВЗ (колінвал, розподілвал, та ін.)	Відновлення шийки колінвалу	Тривалість процесу обробки, продуктивність складає 1 см ² /хв. -20 см ² /хв.; низька вартість обробки
	Відновлення зовнішньої поверхні шестерні колінвалу	
	Відновлення поверхні фланців	
	Відновлення шийки під шестерню	

Таблиця 4.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту [46]

Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технології
Руйнування (ерозія) матеріалу анода при іскровому розряді та використання газу	Технологія наявна	Технологія доступна

Отже, можна зробити висновок, що ймовірність технологічної реалізації проекту існує, бо ця технологія представлена на ринку і вже доступна для реалізації.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап - проекту

Визначення всіх наявних можливостей ринку (табл. 4.3), що можна застосувати під час ринкової імплантації проекту і загроз, які можуть завадити реалізації проекту, дозволить розробити напрями еволюції проекту з врахуванням стану ринку, наявних пропозицій конкурентів та потреб потенційних інвесторів [46].

Щоб проаналізувати ринковий попит застосуємо дослідження на рівні м. Київ. Середній СТО складає приблизно 3800 грн. / день.

Нехай у середньому 21 робочий день, звідси, місячний дохід СТО в Києві складатиме: $3800 \cdot 21 = 79800$ грн. без податків та інших обов'язкових платежів.

Щоб визначити актуальності інвестиції грошових та матеріальних ресурсів на реалізацію даної технології потрібно порівняти облікову ставку НБУ та середню рентабельності ринку (20 %). З 12.04.2018 р. НБУ була прийняла рішення про підняття облікової ставки до 17 %. Отже, рентабельність даного ринку вища, це означає, що даний проект є цікавим для інвесторів.

Щоб визначити потенційні групи клієнтів та їх характеристики, потрібно сформулювати основний перелік вимог до товару для кожної запропонованої групи (табл. 4.3) [46].

Таблиця 4.3 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап – проекту [46]

	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3750
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	79800
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає / спадає / не змінюється
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	На даній території місце з мінімальною кількістю конкурентів знайти достатньо тяжко; на момент виходу на ринок є певна ймовірність, що на ньому будуть компанії, які в силі утворити олігополію.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	20 %

Коли ми визначили потенційних груп клієнтів потрібно проводити аналіз ринкового середовища: складаються таблиці деяких факторів, що сприяють ринковому застосуванню проекту, та тих факторів, які йому можуть перешкоджати (табл. № 4.4 - 4.6). У таблиці фактори подаються в порядку зменшення їх значущості [46].

Оцінка фактичної місткості ринку і ринкового потенціалу створює базу для прогнозу обсягу продажу, і як наслідок, виробничих потужностей, вимог до ресурсів, що споживаються, матеріалів, робочої сили та інвестицій. При розгляді майбутніх ринків можна орієнтуватись як на нові сектори та модернізація існуючих, так і на нову продукцію, ринкові сегменти, зміни прямих і непрямих продажів [48].

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап – проекту [46]

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Зменшення поломок автомобілів, збільшення довгогрівності їх роботи	Власники автомобілів	Кваліфікований персонал; - Новітня техніка та технології; - Досить швидке виконання робіт; - гарантія на роботи, акції для постійних клієнтів, - Дана технологія зручна для водіїв, дозволяє економити їхній час.	до послуги: якість, темпи виконання, до компанії постачальника всіх товарів

Таблиця 4.5 – Фактори можливостей [46]

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Конкурентні переваги, що ґрунтуються на нормативно-правових актах	Введення деяких пільг для нових підприємств даного виду діяльності.	Сприяє достатньо швидкому виходу на ринок для ведення бізнесу
Розвиток НДДКР	Доведено, що малі підприємства є рушійною силою для створення та розвитку нових технологій.	Нові технології впливають на зменшення собівартості послуги; збільшенню обсягів клієнтів; створення нових послуг.

Доведено, що впровадження нових технологій може мати певні ризики пов'язані з вже існуючими конкурентами у даній сфері.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз [46]

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Конкурентні переваги, що ґрунтуються на нормативно-правових актах	Введення обов'язкового ліцензування або суміжні з ним видом реєстрації на даний вид діяльності.	Ліцензування або суміжні з ним вид реєстрації може стати загрозою для виходу на ринок.
Конкурентні переваги структурного плану	Даний вид переваг передбачає наявність переважної частки інформації про клієнтів, постачальників, рекламну діяльність, інфраструктурних зв'язків та інших.	Такий «багаж» інформації здобувається протягом досить великого терміну, що на нове підприємство на ринку негативно може вплинути.
Загроза появи нових конкурентів	Нові конкуренти привносять у галузь нові виробничі потужності й прагнуть роздобути частку ринку збуту, тим самим, знижуючи позиційний прибуток.	Знижує загальний потенціал прибутковості в галузі. Запекла конкуренція в галузі знижує прибутковість, тому що за те, щоб зберегти конкурентоспроможність, призводить до додаткових витрат (витрати на рекламу, організацію збуту, науково-дослідні й дослідно-конструкторські розробки (НДДКР)).
Наявність товарів-замінників	Обмежує ціну, яка може стати потенційною для нашого підприємства на ринку	Більш високі ціни спонукають покупців звернутися до замінника й знизять обсяг виробництва в галузі.

Щоб провести діагностику конкурентного середовища використаємо модель «п'яти сил конкуренції» М. Портера. Дослідимо експертним шляхом як конкурентне середовище впливає на діяльність компанії. Для адекватної оцінки впливу певних факторів конкурентного середовища нами використано 3-х бальна шкала: 1 - слабкий вплив, 2 - помірний вплив, 3 - сильний вплив. По

закінченню аналізу підрахуємо кожне середнє значення впливу всіх конкурентних сил [47].

Провівши цей аналіз, ми визначили середні значення впливу появи нових конкурентів, сили впливу аналогічних товарів-замінників, сили впливу покупців, сили впливу постачальників, межу конкуренції між фірмами та їх взаємний вплив [47].

Завершальним етапом ринкового аналізу можливостей імплантації проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.7) на основі зазначених ринкових загроз та можливостей [48].

Наявні ринкові загрози і ринкові можливості складається на підсумку аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Наслідком (чи деяким прогнозованим результатом) впливу факторів є ринкові можливості та ринкові загрози. Вони на даний момент ще не є реалізованими на ринку, а тільки мають певну ймовірність для появи. Наведемо приклад: підвищення доходів потенційних споживачів – фактор загрози, проаналізувавши і виявивши його завчасно, ми зможемо варіювати ціновою політикою ринку [49].

Своєчасне підвищення ціни дозволить нам підвищити наш прибуток, але так, щоб це не призвело відповідно до цінової конкуренції – це ризик, який може відібрати у нас сектор ринку [49].

Проаналізований перелік сильних і слабких властивостей і характеристик даної нової ідеї для реалізації послуг служить фундаментом для формування конкурентоспроможності та є свідченням того, що даний метод відновлення деталей двигуна внутрішнього згоряння [48].

Отже, проведений SWOT - аналіз стартап – проекту свідчить, що дана обробка потребує менших затрат на створення та впровадження послуг, що свідчить про більшу ринкову привабливість та меншу собівартість.

Таблиця 4.7 – SWOT - аналіз стартап – проекту [48]

	Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
	1. Даний продукт є новим на ринку 2. Послуга економить час та ресурси завдяки відсутності додаткових обробок 3. Послуга дешевша наявних на ринку аналогів 4. Для впровадження послуги на ринок потрібно відносно мало інвестицій	1. Конкуренти, які вже мають свою базу клієнтів і репутацію 2. Впровадження нових технологій на ринку
Можливості (O)	S-O	W-O
1. Інвестиції сприятимуть розширенню 2. Розширення ринку	1. Нові інвестиції дозволять розробляти нові послуги і впроваджувати їх на ринку 2. Відносна економія на обробці впливає меншу собівартість послуг. Це у свою чергу призведе до збільшення клієнтів	1. Нові інвестиції дозволять розробляти нові послуги і впроваджувати їх на ринку, що сприятиме збільшенню конкурентоспроможності 2. Зі збільшенням фінансування можна буде збільшити кількість коштів, які вкладатимуться і нові розробки. 3. Нові технології сприятимуть розширенню підприємства.
Загрози (T)	S-T	W-T
1. Наявність перешкод для входження на ринок 2. Сектор ринку, який вже зайнятий конкурентами погіршуватиме залучення нових клієнтів	1. Перешкоди при впровадженні даного типу послуг на ринок. 2. Економія витрат свідчить про більшу конкурентоспроможність підприємства.	1. Конкуренти можуть об'єднуватися і перешкоджувати діяльності 2. Постійні клієнти у фірм-конкурентів погіршуватимуть розширенню клієнтської бази

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Фірма, яка запроваджуватиме досліджуваний тип діяльності, розглядатиме два існуючих ринку збуту: перший - ринок приватних осіб - де для отримання обороту грошових коштів, кількості покупців і обсягів продажу продукції застосовувався метод анкетування.

Даний метод аналізу ґрунтується на отриманих відповідях, поширених наперед анкет серед власників автомобілів. У анкеті представлений перелік питань, які надають ймовірність оцінити кількість покупців даного типу послуг, про темпи підвищення кількості покупців і обсягів продажу.

Отже, за результатами аналізу було з'ясовано, що цими послугами користуються або бажають користуватись близько 26,3 % опитаних осіб з різною варіацією рівнів доходів.

Для того, щоб відбулося успішне впровадження на ринок потрібно простимулювати майбутніх клієнтів.

Запропоновано:

- клієнти матимуть розтрочку для отримання послуг компанії;
- накопичувальні карти будуть запропоновані постійним клієнтам;
- програма «приведи друга і отримай бонус»;
- на честь річниці підприємству надаватимуться знижки у тижневий період 10% від вартості послуг.

Потрібно визначити базову стратегію розвитку підприємства аналізуючи основні характеристики наданих послуг. Через те, що надання даних послуг передбачає менші витрати у порівнянні з аналогічними типами послуг потрібно застосовувати стратегію спеціалізації.

Впроваджуючи дану стратегію підприємство завоює клієнтів за допомогою нижчих вартості наданих послуг і за допомогою диференціації. Наступним кроком потрібно вибрати стратегію конкурентної поведінки підприємства (табл. 4.8) [46].

Таблиця 4.8 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки [46]

Чи є проект "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Цей проект не є першопрохідцем на ринку	Потрібно закликати нових клієнтів для користування даним типом послуг і переманювати у конкурентів	Реалізує унікальні характеристики, що не потребуватимуть копіюванню конкурентів	Стратегія спеціалізації

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап - проекту

Першим етапом буде створення маркетингової концепції товару, яким безпосередньо буде користуватися клієнт. Для цього зроблено підсумок результатів аналізу конкурентоспроможності товару, який представлено у таблиці 4.9 [46].

Таблиця 4.9 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару [46]

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Зміцнення деяких частин ДВЗ	Простота, висока швидкість та економія	Малі затрати на ведення бізнесу

Для розроблення маркетингової стратегії потрібно провести опис трьох рівнів моделі послуги [49]. Модель послуги передбачає зміцнення деяких

деталей двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), що сприяє підвищити довговічність та надійності використання автомобілів.

Характеристики : товщина зміцненого шару 40 мкм – 160 мкм, підвищена зносостійкість і мікротвердість, яка не змінює масу двигуна.

Основною перевагою перед конкурентами потрібно обов'язково виділити дешевизну послуг. За проведеним попереднім аналізом вважається, що її вартість приблизно у (2 -5) разів менше, порівняно з аналогічними послугами на ринку (табл. 4.10).

Дана методика є унікально і не потребує великих інвестицій. Для того, щоб попередити її застосування конкурентами її можна запатентувати.

4.6 Формування системи збуту

Важливим етапом у проектуванні стартап-проекту є визначення його оптимальної системи збуту. Для даного типу діяльності можна залучати систему збуту або працювати з власною системою збуту. У систему залучення збуту ми використовуємо посередників, що відсутні при системі власного збуту. Підприємство також може звернутися до певних збутових операцій при певних умовах. Серед них кліринг - система безготівкових розрахунків за товари, цінні папери та послуги, яка побудована на врахуванні взаємних зобов'язань та вимог або бартер - збутова угода з оплатою товарів не в грошовому еквіваленті, а в товарній формі [50].

Вибираючи програми збуту потрібно відзначити, що цільовою аудиторією є особи більшість яких отримують середній рівень доходів. Звідси, реклама та збут призведуть до збільшити рівня витрат. Дані витрати впливають на собівартість послуг у межах 10 % [50]. Провівши аналіз можна зробити висновок, що каналами збуту можуть служити реклама в Інтернеті (з використання різних соціальних паутини), банери, рекламні листівки та інші відносно дешеві види реклами.

Спочатку основним завданням реклами буде розповсюдження інформації про відкриття нового підприємства, яке надає унікальні послуги..

Таблиця 4.10 – Оцінка конкурентного середовища компанії [46]

Конкурентні сили	Фактор	Стан фактору	Оцінка фактору в балах		
			1	2	3
1	2	3	4	5	6
1.Проникнення нових конкурентів	1.1. Рівень бар'єру	Значна економія на масштабах збуту		x	
		Високий рівень фінансових інвестицій			x
		Низький ступінь диференціації продукції			x
		Консерватизм існуючої системи поставок			x
		Необхідність залучення постійних покупців		x	
	1.2. Реакція діючих підприємств на появу	Відсутність активної маркетингової політики			x
		Низька інноваційна активність управління персоналом	x		
		Слабке використання методів ведення конкурентної боротьби	x		x
	Середнє значення впливу появи нових конкурентів (I _{нк})			2,375	
2.Поява товарів-замінників	2.1. Вплив товарів – замінників	Перевагу отримує товар з нижчою ціною		x	
		Тенденції до реалізації дешевшого і менш якісного товару		x	
		Відсутність суттєвих розбіжностей в асортименті основних конкурентів			x

Продовження табл.4.10

1	2	3	4	5	6
Середнє значення сили впливу товарів-замінників ($I_{mз}$)			2		
3. Конкурентна сила покупців	3.1. Вплив покупців на конкурентні позиції підприємства	Високий ступінь організації споживачів		x	
		Великі можливості покупців у виборі товарів-аналогів			x
		Високий ступінь стандартизації продукції			x
		Висока мінливість смаків і вподобань споживачів по відношенню до товарів підприємства	x		
	3.2. Торговельна сила споживачів	Зростання рівня інформованості покупців про товари	x		
		Висока цінова еластичність товару		x	
Середнє значення сили впливу покупців ($I_{пoк}$)			1,85		
4. Конкурентна сила постачальника	4.1 Вплив постачальників на конкурентні позиції підприємства	Обмежені можливості підприємства у виборі постачальників			x
		Низька вартість переходу до іншого постачальника			x
	4.2. Обмеження ресурсного потенціалу фірми	Відсутність власних оборотних коштів Нестача складських приміщень	x		x
Середнє значення сили впливу постачальників ($I_{пocт}$)			2,25		
5. Конкуренція	5.1. Ступінь інтенсивності	Узагальнюючий показник інтенсивності конкуренції	x		
		Наявність великої кількості малих підприємств - конкурентів			x

Закінчення таблиці 4.10

1	2	3	4	5	6
	конкуренції	Сильними конкурентами є невеликі ринки		x	
		Незначний приріст попиту на товар підприємства		x	
	5.2. Конкурентні позиції досліджуваної фірми	Вдале місце розташування фірми			x
		Відсутні дослідження конкурентів			x
		Досліджені конкуренти фактично не мають сильних конкурентних переваг			x
Середнє значення інтенсивності конкуренції між фірмами (I_k)			2,3		

4.7 Висновки до розділу 4

Провівши аналіз характеристики даного виду послуг робимо висновок, що вона без сумніву є потенційно успішною. Бо впроваджений тип послуг є унікальним, вигідним, дешевим та доступним.

Встановлені перешкоди, що можуть негативно вплинути на впровадження даного стартапу проекту можуть бути наявні ринкові конкуренти, недостатнє фінансування, погане місцезнаходження підприємства, застосування аналогічних технологій конкурентами та інші. В загальному, цей стартап - проекту має переваги над конкурентами, тому має можливості для його подальшого впровадження на ринку і розширення.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Безпека – це завжди важливий аспект у будь-якому виді діяльності. Від дотримання правил поведінки та охорони праці залежить і стан здоров'я робітника, інженера, лікаря та будівельника. Безумовно і під час виконання науково-дослідницьких робіт ці правила з охорони праці повинні виконуватися неухильно самим дослідником. Також, щоб ця робота була безпечна і комфортна повинні бути враховані всі фактори, які безпосередньо можуть вплинути на її виконання.

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [51].

Охорона праці є невід'ємною частиною організації праці і виробництва. Охорона праці вимагає створення таких умов трудової діяльності, при яких виключається вплив на працюючий персонал небезпечних і шкідливих виробничих факторів [52].

Основні положення про охорону праці визначені конституцією України, законом України «Про охорону праці» та іншими законодавчими і нормативно-технічними актами [51].

Метою цього розділу є аналіз шкідливих та небезпечних факторів, при яких виникає небезпека ураження організму, умов, що можуть привести до травмування в процесі дослідження впливу підвищення міцності і твердості Сталі 40X13 після комплексної обробки, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів та безпеку у надзвичайних ситуаціях.

У процесі виконання магістерської дисертації є потенційна небезпека отримання таких травмувань: механічні (удари, порізи), теплові (опіки), електричні.

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників при виконанні роботи

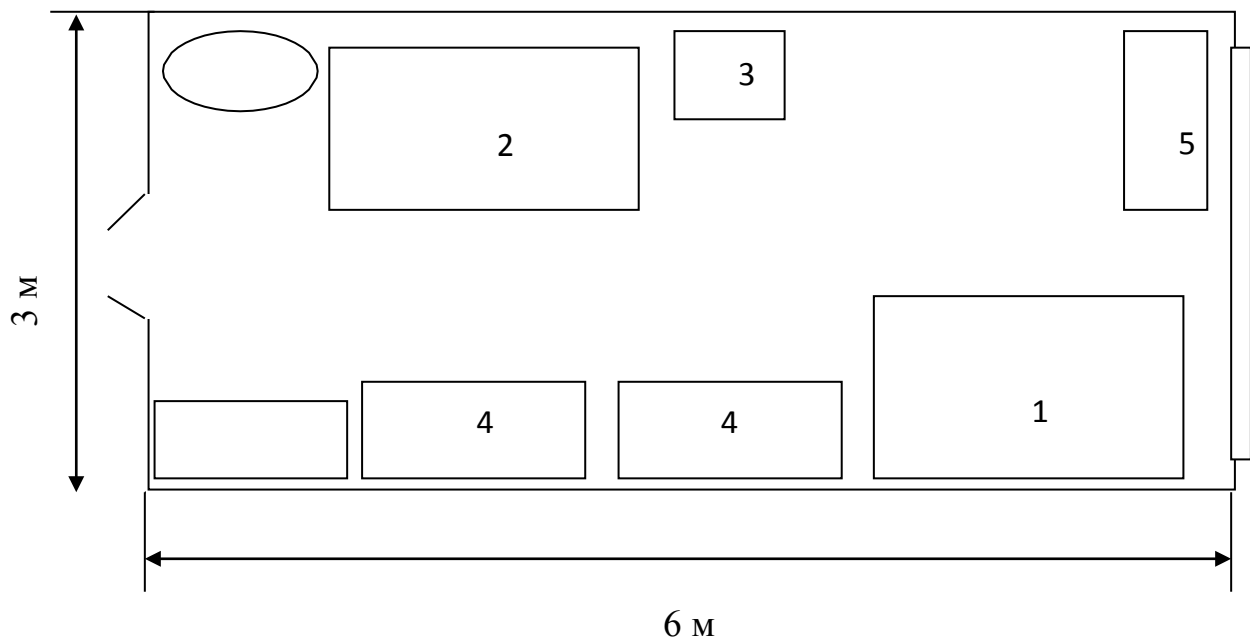
Виконання науково-дослідницької роботи відбувалось на кафедрі фізики металів КПІ ім. Ігоря Сікорського в лабораторії іонно-плазмової обробки № 516, що знаходиться на п'ятому поверсі навчального корпусу № 9 (ІФФ). Схема приміщення наведена на рис. 5.1.

Лабораторія іонно-плазмового азотування має такі параметри:

- 1) ширина - 3 м;
- 2) довжину – 6 м;
- 3) висоту 3,8 м.

Розміри вікна становлять:

- 1) ширина – 2,7 м;
- 2) висота 2 м.



1-установка ВС 350; 2- установка УВН-71; 3- шафа з балонами; 4- шафа;
5- стіл; 6 – раковина.

Рисунок 5.1 - Схема лабораторії іонно-плазмової обробки 516-9

Площа лабораторії складає: $S=a \cdot b=6 \times 3=18 \text{ м}^2$, об'єм лабораторії складає:
 $V=a \cdot b \cdot c=6 \times 3 \times 3,8=68,5 \text{ м}^3$.

На одну людину припадає (з урахуванням роботи двох осіб чоловічої статі) 9 м² площі та 34,2 м³ об'єму. Таким чином площа та об'єм приміщення лабораторії згідно з СНиП 2.09.02-85 , за яким на одну людину повинно припадати від 6 м² площі та 20 м³ об'єму: нормам відповідає [52].

Для підтримання працездатності людини на робочому місці важливу роль відіграє мікроклімат, за якими встановлюються оптимальні та допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря залежно від важкості виконуваних робіт та пори року [55].

Категорія важкості робіт – І б. Ця категорія містить легкі фізичні роботи, які супроводжуються деякою фізичною напругою та виконуються сидячи, стоячи і роботи пов'язані з ходінням. Результати дослідження та нормовані величини параметрів мікроклімату в робочій зоні лабораторії № 516-9 наведені в табл. 5.1 [55].

Таблиця 5. 1 – Мікроклімат лабораторії та ДНС 3.3.6.042-99 для важкості робіт І б [56]

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с		Опалення
		Факт.	Допуст.	Факт.	Допуст.	Факт.	Допуст.	
Холодний	Легка І б	22	20-24	65	<75	0,17	<0,2	Водяне
Теплий		26	21-28	55	65	0,2	0,1-0,3	–

На основі вище написаного можна зробити висновок, що мікроклімат в лабораторії № 516-9 відповідає вимогам санітарних норм.

5.2 Загальний перелік факторів середовища, які треба дослідити

Основним завданням яке безпосередньо є метою даного розділу є забезпечення безпеки, збереження здоров'я та працездатності дослідника впродовж усього процесу проведення експериментів.

Шкідливі та небезпечні фактори, які можуть мати місце при виконанні особливих операцій магістерської дисертації, наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Шкідливі і небезпечні виробничі фактори, що можуть мати місце при виконанні деяких операцій магістерської дисертації

Найменування операцій	Устаткування	Потенційні небезпеки
Електроіскрове легування	Установка для ЕІЛ «Електрон»	Вібрації, травматизм, електробезпека
Отримання шліфів	Шліфувальний станок	Вібрації, травматизм, шум
Оптичний контроль	Електронний мікроскоп	Можливе ураження електричним струмом
Вимірювання мікротвердості	Мікротвердомер ПМТ-3М	Можливе ураження електричним струмом
Іонно-плазмове азотування	Установка ВС 350	Можливе ураження електричним струмом
Обробка експерименту	Комп'ютер ЕВМ	Можливе ураження електричним струмом

Всі використані зразки та обладнання можуть бути чинником виробничого травматизму та професійних захворювань. Будь-який робочий процес потребує обов'язкового дотримання правил охорони праці, щоб запобігти виробничому травматизму і професійним захворюванням .

5.3 Аналіз освітленості приміщення

Освітлення поділяється на три типи відповідно до джерела виникнення: природне, що є сонячними променями прямого чи дифракційного походження; штучне, створюване технічними засобами освітлення: лампи розжарювання,

газорозрядні та діодні лампи; змішане, відповідно поєднання природного та штучного освітлення [57].

При недостатньому освітленні очі працюючого напружені, при цьому складно в розрізняти предмети, знижується темп роботи, що погіршує загальний стан організму людини [57].

Природне і штучне освітлення в приміщеннях регламентується нормами ДБН В.2.5.28-2006 від характеристики зорової роботи, найменшого розміру об'єкта розрізнення, розряду зорової роботи (I-VIII), системи освітлення, характеристики фону, контрасту об'єкта розрізнення з фоном [57].

Зорові роботи, що проводяться у лабораторії 16-9 проводяться можна віднести до роботи середньої точності (IV розряд зорових робіт [57]), так як мінімальний розмір об'єктів, що потрібно розпізнавати складає до 1 см².

Надмірна освітленість характеризується різкою подразливою дією і різцю в очах, при цьому очі швидко втомлюються, зорове сприйняття погіршується, що призводить до сліпоти. В лабораторії № 516 використовується система суміщеного освітлення – освітлення, при якому в світлий час доби використовується природне та штучне освітлення. При цьому, недостатнє, за умовами зорової роботи, природне освітлення доповнюється штучним, яке задовольняє ДБН В.2.5.28 -2006 [57].

5.3.1 Розрахунок природного освітлення

Основне розрахункове рівняння при боковому природному освітленні має вигляд [57]:

$$\frac{(100 \cdot S_0)}{S_n} = \frac{(e \cdot K_3 \cdot \eta_0 \cdot K_{буд})}{\tau_0 \cdot r_1}, \quad (5.1)$$

де e – фактичне значення КПО;

S_0 – площа вікон;

S_n – площа підлоги;

K_3 – коефіцієнт запасу, який приймається згідно табл. 3. Для приміщень з нормальними умовами середовища (кабінети, навчальні, житлові кімнати, лабораторії, читальні зали) дорівнює 1 [57];

η_0 – світлова характеристика вікон (визначається з табл. Л.1) [57].

Відношення глибини приміщення до його висоти рівня умовної робочої поверхні до верха вікна [57]: $6/(3-0,8)=2,72$;

Висота верха вікна складає відносно підлоги 3 м.

Умовна робоча поверхня дорівнює 0,8 м від підлоги.

τ_0 – загальний коефіцієнт світлопроникнення для бокового освітлення, який визначається за формулою[57]:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4, \quad (5.2)$$

де τ_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу, який визначається з табл. Л.3. (0,8, оскільки в лабораторії подвійна рама) [57];

τ_2 – коефіцієнт, який враховує втрати світла за рахунок віконних перетинів, який визначається за табл. Л.3 [57]. В даному випадку 0,7, оскільки рама дерев'яна, спарена;

τ_3 – коефіцієнт, який враховує втрати світла в несучих конструкціях і визначається за табл. Л.3 (при боковому освітленні $\tau_3 = 1$) [57];

τ_4 – коефіцієнт, який враховує втрати світла за рахунок сонцезахисних пристроїв і визначається з табл. Л.4 .Оскільки в лабораторії присутні регулюючі жалюзі, що складаються, то – 1 [57].

$K_{б\gamma\delta}$ – коефіцієнт, який враховує затінювання вікон протилежними будинками, визначається з табл. Л.2 (1,2 тому, що $P/H_{б\gamma\delta}=30/18=1,7$, де: P – відстань між двома будинками) [57];

$H_{б\gamma\delta}$ – висота розміщення карнизу протилежного будинку над підвіконником вікна, що розглядається [57];

r_1 – коефіцієнт, який враховує підвищення КПО при боковому освітленні завдяки світлу, відбитого від поверхонь приміщення [57].

Значення коефіцієнта r_1 визначається за табл. Л.5 [57].

$$\rho_{\text{стелі}} = 80 \% ; S_{\text{стелі}} = 18 \text{ м}^2 ; \rho_{\text{стін}} = 50 \% ; S_{\text{стін}} = 50 \text{ м}^2 ; \rho_{\text{підлоги}} = 30 \% ; S_{\text{підлоги}} = 18 \text{ м}^2 .$$

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{(\rho_{\text{стелі}} \cdot S_{\text{стелі}} + \rho_{\text{стін}} \cdot S_{\text{стін}} + \rho_{\text{підлоги}} \cdot S_{\text{підлоги}})}{(S_{\text{стелі}} + S_{\text{стін}} + S_{\text{підлоги}})} \quad (5.3)$$

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{(0,8 \cdot 18 + 0,5 \cdot 50 + 0,3 \cdot 18)}{(18 + 18 + 50)} = 0,52.$$

Відношення відстані розрахункової крапки від зовнішньої стіни до глибини приміщення дорівнює 0,714.

Згідно таблиці Л.5 [57]: $r_1 = 2$

Визначимо загальний коефіцієнт світлопропускання вікон τ_0 :

$$\tau_0 = 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 = 0,56 \quad (5.4)$$

З рівняння (5.1) знайдемо e :

$$e = \frac{(100 \cdot S_0 \cdot \tau_0 \cdot r_1)}{(S_n \cdot K_z \cdot K_{\text{буд}} \cdot \eta_0)} \quad (5.5)$$

Площа вікна дорівнює: $S_{\text{вікна}} = a \cdot b = 2,7 \cdot 2 = 5,6 \text{ м}^2$

Площа підлоги $S_{\text{п}}$ становить: $S_{\text{п}} = a \cdot b = 6 \cdot 3 = 18 \text{ м}^2$.

Підставивши всі значення до формули (5.5), отримаємо:

$$e = \frac{100 \cdot 5,6 \cdot 0,56 \cdot 2}{18 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 15} = 1,93.$$

Розрахуємо нормоване значення КПО, e_n для нашого приміщення, за формулою [57]:

$$e_n = e_n \cdot m_n, \quad (5.6)$$

де e_n – значення КПО за табл. 1 та 2. Для зорових робіт середньої точності e_n становить 1,5 [57];

m_n – коефіцієнт світлового клімату за табл. 4 [57].

Природне освітлення потрапляє в лабораторію крізь бокові вікна зорієнтовані на південь.

m_n – для південної орієнтації вікон становить 0,85.

$$e_n = 1,5 \cdot 0,85 = 1,275.$$

З аналізу видно, що природнього освітлення не зовсім достатньо. Коли працівник при тривалій роботі не отримує достатньо світла, що не відповідає нормам, то він відчуває головні болі, запаморочення, що може призвести до недостовірності даних та поганих результатів досліджень.

5.3.2 Розрахунок штучного освітлення

Для розрахунку штучного освітлення використовують в основному три методи: світлового потоку (коефіцієнта використання), точковий та питомої потужності [58].

В даній роботі використаємо метод світлового потоку. Основне розрахункове рівняння має вигляд [58]:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot K \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (5.6)$$

де F – світловий потік;

E – нормована освітленість, лк;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

K – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Коефіцієнт використання світлового потоку η визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення i , коефіцієнтів відбиття стін та стелі. Показник приміщення i вираховується за формулою [58]:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}, \quad (5.7)$$

де a і b – ширина і довжина приміщення, м;

h – висота світильника над робочою поверхнею, м.

Отже,
$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3}{2,7 \cdot (6 + 3)} = 0,74$$

Користуючись даними табл. 13 [9] за умовою, що:

$\rho_{\text{стелі}} = 80 \%$, $\rho_{\text{стіни}} = 50 \%$, знаходимо: $\eta = 48 \%$, або 0,48.

З рівняння (5.6) заходимо E :

$$E = \frac{F \cdot N \cdot n \cdot \eta}{K \cdot S \cdot Z}, \quad (5.8)$$

де F для ламп ЛБ = 3200 лм;

K для ламп ЛБ становить 1,5.

$Z = 1,1$ для люмінесцентних ламп;

$N = 6$ шт.; $n = 2$ шт.; $\eta = 0,48$; $S = 18 \text{ м}^2$

$$E = \frac{F \cdot N \cdot n \cdot \eta}{K \cdot S \cdot Z} = \frac{3200 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 0,48}{1,5 \cdot 18 \cdot 1,1} = 620 \text{ лк.}$$

Отже, відповідно до ДБН В.2.5–28–2006 норма освітлення становить 300 лк. Ми отримали значення E , яке у 2 рази перевищує норму. Звідси робимо висновок, що штучного освітлення достатньо.

5.4 Аналіз шуму та вібрації

При виконанні роботи використовувалась вакуумна установка ВС-350, що використовує механічний та дифузійний насоси. Дифузійний насос не створює шуму та вібрацій. Механічний насос, розташований позаду установки створює шум 54 дБ на відстані в 1 м, що не перевищує гранично встановлені ДБН В.1.1-31:2013 у 65 дБ. Вібрації від роботи насосу гасяться за допомогою гумових прокладок, в результаті чого вібрації не зафіксовані [59].

Шум – це будь який небажаний звук, якій наносить шкоду здоров'ю людини, знижує його працездатність, а також може сприяти отриманню травми в наслідок зниження сприйняття попереджувальних сигналів [55]. Граничні величини шуму на робочих місцях лабораторії регламентуються ДБН В.1.1-31:2013.

Вібрація — це механічні коливання пружних тіл або коливальні рухи механічних систем. Для людини вібрація є видом механічного впливу, який має негативні наслідки для організму [59].

Шуми викликають функціональні розлади серцево-судинної системи; призводять до розладів нервової системи; шкідливо впливають на зоровий і вестибулярний аналізатори; знижують рефлексорну діяльність, що часто стає причиною нещасних випадків і травм [59].

Вібрація впливає на: центральну нервову систему, шлунково-кишковий тракт, вестибулярний апарат, викликає запаморочення, оніміння кінцівок, захворювання суглобів. Тривалий вплив вібрації викликає фахове захворювання - вібраційну хворобу [59].

Під час процесу електроіскрового легування вібрації, які виникають, гасяться гумовою прокладкою, яка лежить під столиком для легування.

Щоб уникнути травматизму під час шліфування потрібно дотримуватися всіх правил безпеки, які були вказані науковим керівником під час інструктажу, а саме:

- 1) використовувати робочий халат під час дослідження;
- 2) бути досить уважним;

- 3) слідувати інструкціям;
- 4) якщо виникла, якась небезпечна ситуація одразу звертатися до наукового керівника.

5.5 Аналіз загазованості та запиленості

Чистота повітря в лабораторії визначається вмістом пилу та шкідливих речовин. За ГОСТ 12.1.005-88 [61] встановлено гранично допустимі концентрації шкідливих речовин (мг/м³) у повітрі лабораторії наведено у табл. 5.3.

При виконанні роботи необхідно виготовити шліфи із зразків для цього використано шліфувальний папір, паста Гоя (діоксин хрому), та стандартний 20 % металографічний травник (розчин азотної кислоти у етанолі).

Таблиця 5.3 – Концентрації шкідливих речовин в повітрі [61]

Речовина	Фактична концентрація, мг/м ³	Гранично допустима, мг/м ³	Клас безпеки	Агрегатний стан
Діоксин хрому	0,1	1	2	Аерозоль (пил)
Пил з діоксином кремнію до 4%	4	4	3	Пил
Етанол	800	1000	4	Пар
Азотна кислота	3	5	3	Пар

Гранична концентрація в повітрі шкідливих речовин не перевищена. Перевищення норми цих речовин може призвести до запаморочення, отруєння парами, зниження працездатності.

5.6 Електробезпека

Електроустановки, що використовуються при виконанні даної магістерської дисертації, живляться напругою 380 В змінного струму частотою 50 Гц. Відповідно діючим правилам побудови електроустановок ППЕ-97

приміщення лабораторії № 516-9 з точки зору небезпеки враження людини електричним струмом відносяться до приміщення без підвищеної небезпеки. Це сухі приміщення з температурою повітря (18-25) °С та діелектричною підлогою. Електроустановка ВС 350 живиться напругою 380 В змінного струму частотою 50 Гц.

Проходячи скрізь людину, електричний струм здійснює: Термічний вплив: опіки нагрів частин тіла, тканини організму. Електролітичний вплив: електролітичний розпад крові та інших рідин організму, що спричиняє їх фізико-хімічного складу. Біологічний вплив: неконтрольовані скорочення м'язів; порушення внутрішніх біоелектричних процесів [62].

У лабораторії, де проводилися дослідження, правильно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів.

Причинами враження електричним струмом під час виконання трудового процесу з електрообладнанням є:

- 1) випадковий дотик до струмоведучих частин, які перебувають під напругою, через відсутність засобів недоступності або безвідповідальне відношення до безпеки персоналу [62];
- 2) дотик до неструмоведучих частин електроприладів випадково потрапивших під напругу через ушкодження ізоляції [62];
- 3) потрапляння під напругу під час проведення ремонтних робіт на відключених електроприладах через помилкове їх включення [62].

Для того, щоб робота за електронним мікроскопом, мікротвердометром та установкою ВС 350, була безпечною потрібно дотримуватися правил техніки безпеки. У лабораторії враховані всі фактори для безпечної роботи. Проте якщо виникне якась проблема з устаткуванням не потрібно торкатися їх, оголених проводів, а по можливості вимкнути рубильник і звенутися до керівника.

При роботі за комп'ютером також потрібно дотримуватися всіх перерахованих вище факторів. Всі умови для роботи за комп'ютером уже були враховані науковим керівником. Головне для інженера-дослідника їх

дотримуватися. Досить мало часу приділялося роботі за комп'ютером. Весь час тратився на експериментальну роботу.

5.7 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 приміщення лабораторії № 516-9 за пожежонебезпекою відноситься до категорії «Г» (Негорючі речовини та матеріали в горячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням інфрачервоного теплового випромінення, іскор та полум'я; горючі гази, рідини і тверді речовини, які спалюються або утилізуються в якості палива) [63].

Приміщення належить до категорії «Г». Оскільки процес насичення відбувається з використанням негорючих газів азоту та аргону, останній інертний газ, то слід вважати, що можливість пожежі мінімізується до виникнення пожежі безпосередньо на електроустановці. У випадку виявлення на робочій електроустановці пожежі, полум'я слід гасити вуглекислотобромметилловим або вуглекислотним вогнегасниками [63]. Останній є у наявності в лабораторії (ВБК-2 , призначений для гасіння пожеж електрообладнання під напругою до 1000 В) [63].

Пожежна сигналізація наявна у лабораторії № 516-9. План евакуації з робочого місця наведено на рис. 5.2.

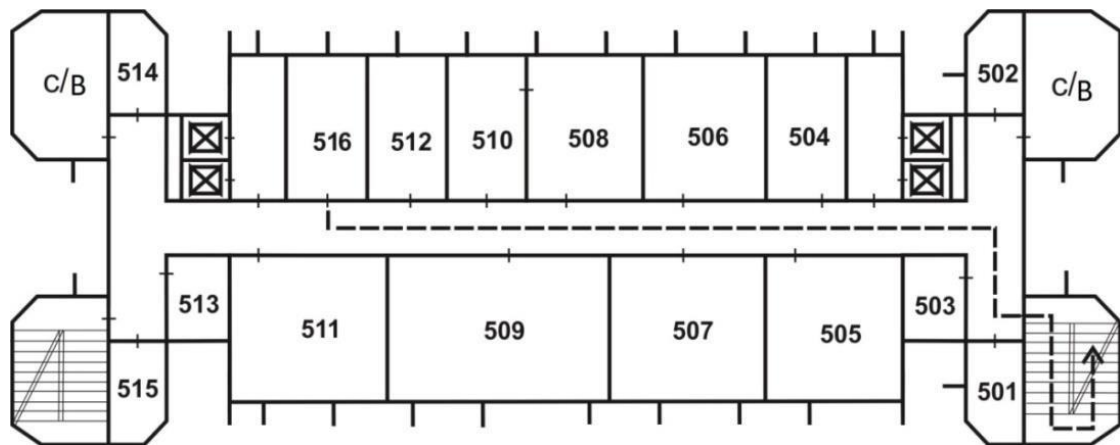


Рисунок 5. 2 – План евакуації з поверху №5

5.8 Забезпечення безпеки в надзвичайній ситуації

Надзвичайна ситуація (НС) - обстановка на окремій території чи суб'єкті господарювання, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення [64].

В даній лабораторії № 516-9 можливе виникнення пожежі. Якщо пожежа вийде за межі лабораторії, то досягне об'єктового рівня і це призведе до виникнення надзвичайної ситуації.

Пожежа – це неконтрольоване горіння поза спеціальними осередками, що розповсюджується в часі і просторі [64].

Причинами пожежі можуть бути :

- коротке замикання в електричній мережі устаткування [64];
- збій в системі водяного охолодження [64];
- використання несправних електроприладів [64];
- недотримання мір безпеки при зберіганні легкозаймистих речовин [64].

Для ліквідації можливих пожеж на ділянці передбачені вогнегасники типу ОУ-5 та пожежні стенди. Для евакуації персоналу під час виникнення пожежі передбачено план евакуації, який наведено на рисунку 5.2.

5.9 Висновок до розділу 5

1. Всі дослідження, які проводилися у процесі виконання магістерської дисертації даній є екологічно чистими та не забруднюють навколишнє середовище.

2. Проведений аналіз шкідливих та небезпечних факторів засвідчує, що умови праці у лабораторії відповідають всім нормам і вимогам, а також запропоновані заходи, щоб їх уникнути. умови при яких може виникнути небезпека ураження організму.

ВИСНОВКИ

1. Встановлена можливість створення зміцнених покриттів на сталі 40X13 комплексною обробкою (EIL+IA та IA+EIL), особливістю будови яких є наявність двох зміцнених шарів з різними характеристиками: тонкого 10 мкм -20 мкм легованого (Fe, Cr, Ti) шару з мікротвердістю (8 – 11) ГПа та азотованого підшару протяжністю 40 мкм -160 мкм і мікротвердістю 7 ГПа-4,5 ГПа.
2. Виявлено ефект збільшення мікротвердості легованих шарів на сталі 40X13 після IA зумовлений насиченням його азотом і формуванням нітридних фаз.
3. Показано, що при комплексній обробці IA+EIL мікротвердість зміцненої зони сталі 40X13 є вищою (11,1 ГПа), а протяжність більшою (160 мкм), ніж при EIL+IA (8,5 ГПа та 40 мкм відповідно).
4. Встановлений вплив послідовності електроіскрового легування (Fe, Cr, Ti) сталі 40X13 в процесі комплексної обробки на мікротвердість поверхневої зміцненої зони: легування на останній стадії нітридоутворюючими елементами – Cr або Ti приводить до більших значень мікротвердості за рахунок формування нітридних фаз.
5. Аналіз запропонованого виду послуг показав, що вона є потенційно успішною. Бо впроваджений тип послуг є унікальним, вигідним, дешевим та доступним. Встановлені перешкоди, що можуть негативно вплинути на впровадження даного стартапу проекту можуть бути наявні ринкові конкуренти, недостатнє фінансування, погане місцезнаходження підприємства, застосування аналогічних технологій конкурентами та інші.
6. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів умов праці в лабораторії засвідчив, що освітленість, мікроклімат та організація робочого місця відповідають вимогам санітарних норм. Також встановлено, що рівень шуму та вібрацій не перевищує допустимих норм. Було запропоновано заходи для

уникнення травмування в процесі дослідження впливу комплексної обробки на мікроструктуру та мікротвердість. Отже, всі проведені дослідження є безпечними для життя і здоров'я дослідника, а також не несуть шкоди навколишньому середовищу і є екологічно чистими.

CONCLUSIONS

1. Discovered that possibility of creation of hardened coatings on steel AISI 420 by complex processing (ESA + IP and IP + ESA), the peculiarity of which is the presence of two reinforced layers with different characteristics: thin 10 microns -20 microns of doped (Fe, Cr, Ti) layer microhardness (8 - 11) GPa and nitrided sublayer lengths of 40 μm -160 μm and microhardness of 7 GPa-4,5 GPa.

2. The effect of increasing the microhardness of alloying layers on steel AISI 420 after the IP was determined by saturation of its nitrogen and formation of nitride phases.

3. It was shown that in the complex treatment of IP + ESA, the microhardness of the strengthened steel zone of steel AISI 420 is higher (1.1 GPa), and the length is greater (160 μm) than with EIL + IA (8.5 GPa and 40 μm , respectively).

4. The influence of the sequence of electric-spark alloying alloy (Fe, Cr, Ti) of steel AISI 420 in the process of complex processing on the microhardness of the surface hardened zone: doping at the last stage by nitride-forming elements - Cr or Ti results in higher values of microhardness due to the formation of nitride phases.

5. An analysis of the proposed type of service has shown that it is potentially successful. Because the implemented type of service is unique, profitable, cheap and affordable. Established obstacles that could negatively affect the implementation of this project startup may be available market competitors, lack of financing, poor location of the enterprise, the use of similar technologies by competitors, and others.

6. The analysis of harmful and dangerous factors of working conditions in the laboratory showed that the illumination, microclimate and the organization of the workplace meet the requirements of sanitary norms. It is also found that the noise and vibration levels do not exceed the permissible limits. It was suggested that measures should be taken to avoid injury in the study of the effect of complex treatment on

microstructure and microhardness. Therefore, all studies carried out are safe for the investigator's life and health, as well as they do not cause harm to the environment and are environmentally friendly.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лобачова Г.Г. Поверхнєве зміцнення сплавів заліза електроіскровим легуванням цирконієм, титаном, хромом та хіміко-термічною обробкою : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. Наук: спец. 05.16.01 – «Металознавство та термічна обробка металів» / Г.Г. Лобачова. – Київ: 2012. – 20 с.
2. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов: учебник / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – М.: МИСиС, 2005. – 432 с.
3. Марочник стали и сплавов [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.splav-kharkov.com/main.php> – Дата доступу: 12.04.2018. – Марочник стали и сплавов.
4. Мірненко В.І. Підвищення довговічності елементів бурильної колони методом дифузійного насичення при вакуумному газотермоциклічному іонному азотуванні в імпульсному режимі / В.І. Міроненко, Б.О.Чернов, О. В. Радько, // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины. – 2013. – Вып. 16. – С. 136–142.
5. Голубець В.М. Захисні властивості і зносостійкість вакуумних йонно - плазмових покриттів: моногр. / В.М. Голубець , О.Б. Гасій , Я.В. Щуйко. – Львів: ВТФ «Друксервіс», 2008. – 104 с.
6. Radko O. Improving the durability of the drill string elements by gasthermocyclic vacuum ion-plasma nitriding / O.Radko. Problems of friction and wear. – 2014. – p.53-56.
7. Лахтин Ю.М. Азотирование стали / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган. – М. : Машиностроение, 1976. – 256 с.
8. Пастух И.М. Теория и практика безводородного азотирования в

тлеющем розряде / И.М. Пастух. – Харьков: Изд-во ННЦ ХФТИ, 2006. – 364 с.

9. Кочярин Е.В. Влияние химико-термической обработки на пластичность электролитических осталенных покрытий / Е.В. Кочярин, // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – №3. – С.31-33.

10. Mashkov Y. The effect of electric –spark treatment on the structure and properties of modified friction surfaces / Y. Mashkov, D. Korotaev // Friction and wear. 2016. – V.37. – № 1: 83-88.

11. Electro-spark alloying using graphite electrode on titanium alloy surface for biomedical applications / Chang-bin, T.; Dao-xin, L.; Zhan, W.; Yang, G. // Applied Surface Science. – 2011. – 257. – 636-637.

12. Radek N. Influence of laser treatment on the properties of electro-spark deposited coatings / N. Radek, B. Antoszewski // Kovove Materialy-Metallic Materials.–2009. – 1. – 31-38.

13. Odporność na korozję kawitacyjną powłok elektroiskrowych / Jasionowski R., Podrez – Radziszewska M., Depczyński W., Radek N. // Inżynieria Materiałowa.– 2011. – 450-453.

14. Подчерняева И.А. Электроэрозионная стойкость и структурно фазовые превращения при электроискровом и лазерном легировании титанового сплава композиционной керамикой на основе систем ZrB_2 – $ZrSi_2$ и TiN – Cr_3C_2 / И.А. Подчерняева, А.Д. Панасюк, В.М. Панашенко // Порошковая металлургия. – 2008.– № 1/2. – С. 151–161.

15. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 1995.– 323 с.

16. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирования металлических поверхностей / Н.И. Лазаренко. – М.: Машиностроение, 1976. – 44 с.

17. Мулин Ю.И. Электроискровое легирование рабочих поверхностей инструментов и деталей машин электродными материалами, полученными из минерального сырья / Ю.И. Мулин, А.Д. Верхотуров. – Владивосток : Дальнаука, 1999. – 110 с.

18. Depczynsky W. Properties of elektrosparc depositedstellite coating on mild steel / W. Depczynsky, N. Radek // The Centre for Laser Technologies of Metals Faculty of Mechatronics and Machine Design, Kielce University of Technology. – Kielce, Poland, EU. – 1000-lecia P.P. 7, 25-314.

19. Завойко О.С. Механізація процесу електроіскрового легування із застосування реакційних властивостей газів / О.С. Завойко. Фізика і хімія твердого тіла. Т. 15, - № 4, 2013, . – ст. 897-903.

20. Вплив газового середовища на формування покриттів на залізі за електроіскрового легування / Мазанко В., Храновська К., Іващенко Є., Ворона С. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2008. – Т. 44, № 2. – С 117-119.

21. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев. – К.: Наукова думка, 1976. – 220 с.

22. Могилевский И.З. Структурные изменения в железе и стали после / И.З. Могилевский // Проблемы электрической обработки материалов. – 1960. – Вып. 1. – С.86-97.

23. Превращение в поверхностных слоях сплавов железа при электроискровом легировании графитом / А.И. Михайлюк, А.Е. Гитлевич, А.И. Иванов [и др.]. // Электронная обработка материалов. 1986. – №4. – С.23-27.

24. Михайлюк А.И. Уменьшение шероховатости электроискровых покрытий при последующей обработке графитовым электродом / А.И. Михайлюк // Электронная обработка материалов. 2003. – №3. – С.21-23.

25. Астапов Е. С. Создание одно и двухслойных электроискровых окалинстойких покрытий на вольфрамокобальтовых твердых сплавах / Е. С. Астапов, А. С. Борилко // Физика: фундаментальные и прикладные исследования, образование / Материалы Всероссийской молодежной научной конференции. – 2012. – С. 59-62.

26. Богатчук І.М. Процес відновлення зношених поверхонь штоків / І.М. Богатчук, І.Б. Прунько, Ю.І. Богатчук // Наукові нотатки. – 2009.

27. Васи́лин П.А. Нанесение защитных и упрочняющих покрытий на стали 40Х методом электроискрового легирования / П.А. Васи́лин, В.А. Винокуров // Современная техника и технологии. – 2013. – с. 26-27.
28. Іващенко Є.В. Формування поверхневого зміцненого шару при хіміко- термічній обробці заліза, поєднаній з електроіскровим легуванням / Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова, В.Ф.Мазанко // Термічна і хіміко-термічна обробка. – 2010. – с. 39-42.
29. Вплив середовища легування та додаткового азотування на мікротвердість, структуру та фазовий склад залізної підкладки / Храновська К.М., Мазанко В.Ф., Іващенко Є.В., Лобачова Г.Г. // Фізико-хімічна механіка матеріалів.– 2010. – Т. 8, № 4. – С. 371-375.
30. Каплун В.Г. Ионное азотирование в безводородных средах / В.Г. Каплун П.В. Каплун В.Г. – Хмельницький : ХНУ, 2015. – 344 с.
31. Каплун П.В. Комплексні технології зміцнення поверхні деталей машин. / Каплун П.В. Каплун В.Г.Шалапко Ю.І. / Технология производства и ремонт – Хмельницький. – 2007. – №2. – С. 132-135.
32. Бородій Ю.П. Підвищення стійкості розділових штампів комбінованими методами поверхневого зміцнення: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. Наук: спец. 05.03.05- « Процеси та машини обробки тиском » / Ю.П. Бородій – Київ. – 2013. – 26 с.
33. Рутковский А. В. Износостойкость стали 40Х13 после упрочнения методом термоциклического ионно-плазменного азотирования в условиях абразивного изнашивания / А.В. Рутковский, А.Ю. Кумуржи // Проблемы тертя та зношування. – 2012. – №57. – С. 240-250.
34. Радько О.В. Абразивна стійкість сталі 46Х13 після зміцнення методом термоциклічного іонно-плазмового азотування / О.В. Радько, О.В. Рутковський, О.Ю. Кумуржи // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2013. – №34. – С. 156-160.
35. Пат.91096 Україна, МПК С23С 8/36. Спосіб поверхневого зміцнення сталевих деталей з різьбовою поверхнею іонно-плазмовим

азотуванням у пульсуючому тліючому розряді / М. Я. Ткач, Б.А Лященко, В.І. Міроненко, О.В. Радько, А.В. Рутковський. – № u201314544; заявл. 12.12.2013; опуб. 25.06.2014, Бюл. №12.

36. Пащенко В.М Технологія нанесення покриття: Метод. вказівки до виконання курсової роботи та практичних занять для студ. спец. “ Технологія та устаткування відновлення і підвищення зносостійкості машин і конструкцій ” / Уклад.: В.М. Пащенко – К.: ІВЦ ”Політехніка”, 2003. – 52 с.

37. Костиков В.И. Плазменные покрытия / В.И. Костиков, Ю.А. Шестерин. М.: Металлургия, 1978. – 160 с.

38. Morduyk B.N. Fatigue life improvement of α -titanium by novel ultrasonically assisted technique / B.N.Morduyk, G.I. Prokopenko // Mater. Sci. Eng. A. – 2006. – 437. – P. 396 – 405.

39. Справочник химика. Стали марки 40X13. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://metallischekiy-portal.ru/marki_metallov/stn/40X13/ – Дата доступа: 25.04.2018.

40. Електронний ресурс. Приминение стали марки 40X13. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.promgroupchel.ru/>– Дата доступа: 25.04.2018.

41. Справочник химика. Титан. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://chem100.ru/elem.php?n=22> – Дата доступа: 25.04.2018.

42. Белоцкий А.В. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Физические методы исследования металлов». Часть IV. / Сост. А.В. Белоцкий, А.Ф. Богданова, В.Г. Тиняев. – К.: КПИ, 1984. – 60 с. – С. 32 – 47.

43. Холявко В.В. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів [текст]: навчальний посібник для студентів галузі знань 13 – Механічна інженерія спеціальності 132 – Матеріалознавство денної та заочної форм навчання / В.В. Холявко, І.А. Владимирський, О.О. Жабинська. – Київ: Центр учбової літератури, 2016. – 156 с.

44. Горелик С.С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ: учеб. пособие для вузов. – 3-е изд. доп. и перераб. / С.С. Горелик,

Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев // М.: МИСИС, 1994. – С. 328.

45. Барабаш Р.И. Методические указания к лабораторным работам по курсу рентгенография металлов / Р.И. Барабаш, О.Г. Пахаренко, Е.В. Иващенко // К.: КПИ, 1989. – С. 60.

46. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

47. Бланк С. Стартап. Настольная книга основателя / С. Бланк, Б. Дорф ; пер. с англ. Т. Гутман, И. Окунькова, Е. Бакушева. – 2-е изд. – Москва : Альпина Паблишер, 2014. – 614 с.

48. Коэн Д. Стартап в Сети : мастер-классы успешных предпринимателей / Д. Коэн, Б. Фелд ; пер. с англ. М. Иутина. – 2-е изд. – Москва : Альпина Паблишер, 2013. – 337 с.

49. Петруненко А. Оценка коммерческой привлекательности проекта [Электронный ресурс] // Технологический бизнес. – 1999. – № 2. Режим доступа: <http://www.techbusiness.ru/tb/archiv/number2/page01.htm>.

50. Шершньова, З. Є. Стратегічне управління [Текст] : підруч. / З. Є. Шершньова. – К.: КНЕУ, 2004. – 699 с. 8. Мартиненко, М. М. Стратегічний менеджмент [Текст] : підручник / М. М. Мартиненко, І. А. Ігнат'єва. – К.: Каравела, 2006. – 320 с.

51. Закон України " Про охорону праці ". [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua> – Дата доступа: 8.04.2018.

52. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці», «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» в дипломних проектах /Укл.:В.М. Челябієва, – Чернігів: ЧДТУ, 2012 – 43 с.

53. ДБН В.2.5-28-2006 –Державні будівельні норми України.

54. Желібо Є.П. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівнів акредитації. / Є.П. Желібо, Н.М. Заверуха, В.В. Зацарний // Київ: «Каравела». – 2001. – 320 с.

55. Голінько В.І. Основи охорони праці / В.І. Голінько // М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
56. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042–99.
57. ДБН В.2.5-28 2006 – Інженерне обладнання будинків і споруд // Природне і штучне освітлення, затверджені наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від. – 2006. – Т. 15.
58. Москальова В.М. Охорона праці: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / В. М. Москальова // Рівне: НУВГП, 2009.
59. Електричне освітлення та опромінення [Текст] : методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів факультету енергетики та автоматики / Національний університет біоресурсів і природокористування України ; уклад. Л. С. Червінський [та ін.]. - К. : Видавничий центр НУБіП України, 2014. - 59 с.
60. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.
61. Загальні санітарно гігієнічні вимоги до повітря робочої зони: ГОСТ 12.1.005-88.
62. Сабарно Р. В. Методические указания по курсу „Электробезопасность” / Р. В. Сабарно, В. В. Зацарний. – К. : КПИ, 1983. – 55 с.
63. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 – Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
64. Кодекс цивільного захисту України. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua>– Дата доступа: 8.04.2018.